



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO CIVIL**

**DISEÑO DE TUBERÍA DE PRESIÓN EN CENTRALES**  
**HIDROELÉCTRICAS Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍA**  
**DE MATERIALES ACERO Y POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE**  
**VIDRIO**

**AUTOR:**

**GINA MARICELA TITUAÑA VÁSQUEZ**  
**ELIZABETH STEPHANIE TORRES RIVAS**

**DIRECTOR:**

**ING. CARLOS LUIS NAVAS**

**QUITO, 2018**

## **DEDICATORIA**

A Dios:

Por guiar mi camino durante todo este tiempo, ser mi fortaleza durante toda mi vida,  
porque no existen triunfos sin la ayuda de Dios.

A José Elías Vásquez:

Por confiar siempre en mí, porque todo esto comenzó de su mano y solo espero que  
llegue el día de volvernos a encontrar.

A mi papá Gustavo Tituaña:

Por estar siempre a mi lado sin importar nada, por ser el mejor papá que Dios me  
pudo dar y el ejemplo de mi vida para llegar hasta donde hoy estoy.

A mi mamá Olguita Vásquez:

Por ser la luz que ilumina mi camino y porque sin su apoyo durante toda mi vida esto  
no hubiese sido posible.

Gina Maricela Tituaña

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios.

Por siempre estar conmigo, darme la sabiduría e inteligencia y otorgarme el valor para no desfallecer y seguir hasta conseguir mi título universitario.

Dedico esta tesis a mi mamita.

Por ser la persona la cual siempre estuvo conmigo, se desveló, me ayudo en los deberes, me cuido y siempre estuvo ahí para darme su apoyo incondicional.

Elizabeth Stephanie Torres

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida, porque mi vida entera es de Dios y cuando más necesite de su apoyo miraba el cielo y sabía que nunca estuve sola.

Porque todas las cosas proceden de él,  
y existen por él y para él.

¡A él sea la gloria por siempre!

**Romanos 11:36**

Gracias a mis padres, por ser quienes me guiaron y cuidaron durante todo este tiempo, gracias por sus consejos, por toda su paciencia conmigo y por el inmenso amor que siempre me transmitieron, gracias por ser los mejores padres que Dios me pudo dar.

Gracias a María Fernanda Tituaña, por sus consejos, gracias por ser la alegría de nuestras vidas y ser mi mejor amiga.

Gracias a Gustavo Adolfo Tituaña, por ayudarme a superar mis miedos, por escucharme y por siempre estar a mi lado.

Al Ingeniero Carlos Luis Navas, director de este trabajo de titulación, por el tiempo, confianza, colaboración y conocimientos brindados para el desarrollo y culminación del mismo.

A mi compañera de tesis y amiga para toda la vida, Elizabeth Torres, gracias por todo este tiempo compartido, gracias por sus palabras de consuelo en los momentos más difíciles que tuve que pasar.

A todos mis amigos que hicieron de la vida universitaria una de las mejores etapas de mi vida con recuerdos inolvidables.

A Mateo Torres, gracias porque me enseñaste a brillar de nuevo.

Gina Maricela Tituaña

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por siempre darme las fuerzas, la valentía, fortaleza, perseverancia que me permitió cumplir mi carrera universitaria.

A mi mamita por ser la mejor para escuchar por estar a mi lado, por no dejarme sola nunca, por apoyarme y cuidarme y así juntas lograr esto.

A mi papa por preocuparse por mí, por siempre estar preguntando como estoy y por cuidarme.

A mis hermanos por ayudarme en la universidad, por siempre estar ahí apoyándome y cuidándome y por no dejarme sola.

Al ingeniero Calos Luis Navas director del trabajo de titulación por los conocimientos, el tiempo, la ayuda, el apoyo brindo para el desarrollo y culminación del trabajo de titulación.

A mi novio Joan por estar junto a mi apoyándome, siempre preocupándose por mí, por cuidarme, amarme, por ser mi compañero de vida, por darme ánimos y nunca soltar mi mano.

A Gina María y mi compañera de tesis por perseverar juntas, siempre estar ayudándonos desde antes de comenzar la tesis, por escucharme, por comprender, por apoyarme y por no enojarse conmigo.

A mis amigos por estudiar conmigo, por las desveladas, por apoyarme en los momentos difíciles, por escucharme y por estar ahí siempre.

A mis profesores por impartir su conocimiento y ser unas personas de gran valor las cuales me inculcaron no solo materias si no que me formaron profesionalmente.

Elizabeth Stephanie Torres

## **RESUMEN**

En la actualidad es de gran importancia buscar nuevos materiales y técnicas para la construcción, innovando materiales e investigando sobre los mismos, para así encontrar materiales de mejor resistencia, mayor durabilidad que a su vez sean económicamente más accesibles en su utilización.

Se propone comparar dos tipos de materiales los cuales satisfagan las necesidades técnicas y de costos que se requieren en la colocación y funcionamiento de la tubería de presión en una central hidroeléctrica. Los materiales a investigarse serán poliéster reforzado con fibra de vidrio y acero, materiales que están a la vanguardia en la construcción de tuberías de presión en centrales hidroeléctricas. La comparación presenta diferentes formas de manejo y construcción por lo que es necesario definir las características de los mismos.

Por las características topográficas e hidrológicas presentes en los lugares de construcción de las centrales hidroeléctricas, existen complicaciones al momento de la instalación de tuberías de presión, se necesitan materiales que puedan resistir el caudal que conducen, la presión, altura que interviene durante el proceso constructivo.

El análisis comparativo que se realizará, servirá para diferenciar la calidad que proporcionan los materiales durante el proceso constructivo de la tubería de presión y durante la vida útil del mismo. La comparación se realizará en centrales hidroeléctricas de pequeñas alturas como son: central hidroeléctrica Topo, Cumbayá, Guangopolo y Baba.

Se realizará un análisis de costos para definir que material a lo largo de su vida útil presenta mejor relación costo beneficio, tomando en cuenta su costo y facilidad de construcción, así como también su costo de operación y mantenimiento.

Para la comparación técnica de los materiales se realizará el diseño de las tuberías de presión con el método que toma en cuenta el golpe de ariete, ya que este método da como resultado dimensiones mayores que cumplen con los parámetros de seguridad.

## Contenido

CAPÍTULO I.....	xi
INTRODUCCCIÓN.....	1
1.1.    Antecedentes. ....	1
1.2.    Objetivos. ....	1
1.2.1.    Objetivo general. ....	1
1.2.2.    Objetivos específicos. ....	1
1.3.    Alcance. ....	1
1.4.    Metodología.....	2
CAPÍTULO II. ....	3
FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	3
2.1. Centrales hidroeléctricas ....	3
2.1.1. Definición ....	3
2.1.2. Clasificación de centrales hidroeléctricas.....	3
2.2. Componentes de una central.....	4
2.2.1. Embalse y Presa. ....	4
2.2.2.    Azud. ....	4
2.2.3.    Captación.....	4
2.2.4.    Conducción. ....	4
2.2.5.    Desarenador.....	5
2.2.6.    Cámara de carga. ....	5
2.2.7.    Chimenea de equilibrio. ....	5
2.2.8.    Casa de máquinas. ....	6
2.2.9.    Rejillas. ....	6
2.2.10.    Compuertas. ....	6
2.2.11.    Válvulas.....	7
2.2.12.    Turbinas.....	7
2.3.    Tubería de presión. ....	9
2.3.1. Definición. ....	9
2.3.2.    Características hidráulicas.....	9
2.3.3.    Número conveniente de tuberías. ....	9
2.3.3. Pasos para seleccionar una tubería de presión. ....	9
2.3.4.    Tipos de uniones de la tubería de presión. ....	10

2.3.5.	Consideraciones para diseño .....	12
2.3.6.	Formas de instalación de tubería de presión .....	12
2.3.7.	Válvulas para tubería de presión .....	13
2.4.	Potencia y energía. ....	14
2.4.1.	Energía .....	14
2.4.2.	Potencia .....	15
2.5.	Gradiente hidráulico y de energía.....	16
2.5.1.	Gradiente hidráulico .....	16
2.5.2.	Gradiente de energía .....	16
2.6.	Golpe de ariete y cavitación. ....	17
2.6.1.	Golpe de ariete .....	17
2.6.2.	Cavitación .....	20
2.7.	Materiales utilizados en tubería de presión. ....	21
2.8.	Características físicas y mecánicas de los materiales acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio en tubería de presión para hidroeléctricas. ....	24
2.8.1.	Acero. ....	24
2.8.2.	Poliéster reforzado con fibra de vidrio. ....	25
CAPÍTULO III. ....		27
COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN EN LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE PEQUEÑAS ALTURAS. ....		27
3.1.	Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Topo. ....	27
3.2.	Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Baba. ....	44
3.3.	Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Cumbayá. ....	58
3.4.	Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Guangopolo. ....	76
CAPÍTULO IV. ....		102
TÉCNICA CONSTRUCTIVA Y MANTENIMIENTO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN. ....		102
4.1.	Proceso constructivo de la tubería de presión con acero. ....	102
4.1.1.	Manual de instalación de tuberías de presión con acero enterradas... 102	
4.1.1.1.	Transporte, Manipulación y almacenaje. ....	102
4.1.1.2.	Zanjado. ....	105



4.1.1.3.	Colocación y montaje.....	105
4.1.2.	Manual de instalación de tuberías de presión con acero aérea.....	107
4.2.	Proceso constructivo de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio. ....	109
4.2.1.	Instalación y método constructivo para tubería de presión enterrada.	109
4.2.2.	Cimentación. ....	110
4.2.3.	Excavación de la zanja. ....	110
4.2.4.	Montaje. ....	111
4.2.5.	Empate en la unión de la tubería de presión. ....	112
4.2.2.	Instalación y método constructivo para tubería de presión aérea.....	113
4.2.2.1.	Instalación tubería aérea. ....	113
4.2.2.2.	Soporte de la tubería de presión. ....	114
4.3.	Mantenimiento de la tubería de presión con acero.....	114
4.3.1.	Inspección Visual. ....	114
4.3.2.	Medición de espesores en la tubería de presión. ....	115
4.3.3.	Inspección y mantenimiento de pintura y recubrimiento anticorrosivo. ....	115
4.4.	Mantenimiento de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio. ....	117
CAPÍTULO V.....		121
COSTO DE INVERSIÓN DE LA TUBERÍA DE POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y DE LA TUBERÍA DE ACERO.....		121
5.1.	Costos de importación – INCOTERMS .....	121
5.2.	Determinación de precios unitarios de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio. ....	126
5.3.	Determinación de precios unitarios de la tubería de presión con acero. ....	134
5.4.	Costos de operación y mantenimiento. ....	143
CAPÍTULO VI.....		146
ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE TUBERÍA DE PRESIÓN CON POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y TUBERÍA DE ACERO. ....		146
6.1.	Comparación técnica. ....	146
6.1.1.	Presión de las tuberías.....	146
6.1.2.	Características físicas y mecánicas. ....	147

6.1.3.	Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica Topo.	150
6.1.4.	Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica Cumbaya.	151
6.1.5.	Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica Nueva Guangopolo.	153
6.1.6.	Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica multipropósitos Baba.	155
6.2.	Comparación de costos de tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio y tubería de acero.	157
6.2.1.	Caso 1: tubería de presión proyecto Topo (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).	157
6.2.2.	Caso 2: tubería de presión proyecto Cumbayá (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).	159
6.2.3.	Caso 3: tubería de presión proyecto Guangopolo(acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).	161
6.2.4.	Caso 4: tubería de presión proyecto Baba (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).	162
6.2.5.	Costos de inversión de tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio y actualización de costos de tubería de acero.	164
CAPÍTULO VII.		166
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		166
7.1.	Conclusiones	166
7.2.	Recomendaciones	168
Bibliografía		169

<b>Ilustración 1.2.</b> Turbinas de acción.....	8
<b>Ilustración 2.2.</b> Unión espiga campana.....	11
<b>Ilustración 2.3.</b> Válvula mariposa.....	14
<b>Ilustración 2.4.</b> Diámetros nominales tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio....	25
<b>Ilustración 2.5.</b> Clases de presión.....	25
<b>Ilustración 3.6.</b> Ubicación Central Hidroeléctrica Cumbayá.....	59
<b>Ilustración 4.7.</b> Transporte de tuberías de acero.....	102
<b>Ilustración 4.8.</b> Transporte de la tubería con un punto de fijación .....	109
<b>Ilustración 4.9.</b> Transporte de tuberías con dos puntos de fijación. ....	109
<b>Ilustración 4.10.</b> Excavación de la zanja .....	110
<b>Ilustración 4.11.</b> Material de relleno en zanja. ....	111
<b>Ilustración 4.12.</b> Montaje con Maquinaria. ....	111
<b>Ilustración 4.13.</b> Método de inserción manual. ....	112
<b>Ilustración 4.14.</b> Acople con maquinaria.....	113
<b>Ilustración 4.15.</b> Esquema de distribución de los soportes de una tubería. ....	114
<b>Ilustración 4.16.</b> Medición de espesores.....	115
<b>Ilustración 4.17.</b> Esquema Tubería PRFV dañada.....	117
<b>Ilustración 4.18.</b> Procedimiento acople tubo de cierre. ....	118
<b>Ilustración 4.19.</b> Reparación de brida con unión laminada. ....	119
<b>Ilustración 4.20.</b> Reparación por sustitución. ....	119
<b>Ilustración 4.21.</b> Cementación de un tramo de tubo. ....	120
<b>Ilustración 6.23</b> Comparación de costos Acero vs GRP.....	158

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Antecedentes.

Las tuberías de presión de las centrales hidroeléctricas fueron elaboradas por Proyectos energéticos Ecuagesa S.A. en el proyecto Topo la cual fue diseñada y construida con GRP, fibra de vidrio reforzada; por Celec en el proyecto Multipropósito Baba; por la Empresa eléctrica Quito en los proyectos Cumbayá y Guangopolo, todas éstas fueron diseñadas y construidas en acero.

El presente trabajo de disertación tomará en cuenta las centrales hidroeléctricas Cumbayá, Guangopolo, Topo y Baba, en las cuales se realizará el diseño de la tubería de presión con materiales como el poliéster reforzado con fibra de vidrio; se busca una mejora en los materiales utilizados anteriormente en estas centrales hidroeléctricas.

#### 1.2. Objetivos.

##### 1.2.1. Objetivo general.

Realizar el análisis comparativo del diseño de la tubería de presión en centrales hidroeléctricas mencionadas con la utilización de materiales: poliéster reforzado con fibra de vidrio y acero.

##### 1.2.2. Objetivos específicos.

- Comparar las características físicas y mecánicas de los materiales: acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio en tuberías de presión de centrales hidroeléctricas.
- Comparar entre las dos tecnologías, acero y GRP para las centrales hidroeléctricas Topo, Cumbayá, Guangopolo y Baba, ya construidas.
- Comparar los procesos constructivos y el mantenimiento de las tuberías de presión en centrales hidroeléctrica, entre poliéster reforzado con fibra de vidrio y acero.
- Comparar desde el punto de vista técnico y de costos, los diseños de la tubería de presión de centrales hidroeléctricas con acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio.

#### 1.3. Alcance.

El alcance del trabajo de titulación estará basado en estudios descriptivos y correlacionales. Estos estudios descriptivos se van a desarrollar de forma que se detallarán los comportamientos, características y aplicaciones de los materiales con los que se trabajará.

Las correlaciones se van realizar mediante la comparación entre ventajas y desventajas económicas, físicas y mecánicas tales como problemas en el proceso constructivo, la delimitación de altura para el funcionamiento de la tubería de presión de los dos materiales, se realizará la comparación del tiempo de mantenimiento que cada uno de los materiales presenta y a su vez el lucro cesante que este representa al parar la producción en la central hidroeléctrica.

La investigación busca la utilización de nuevos materiales en centrales hidroeléctricas, se proyecta tener un comportamiento eficiente de la tubería frente a las limitaciones que los materiales presentan, para lo cual se propone una comparación de dos materiales, acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio; tomando en cuenta las características físicas y mecánicas de cada uno. La información técnica de los materiales será proporcionada por la empresa Otek en el caso de la tubería de GRP, y Sedemi en el caso de la tubería de acero.

Se realizará el diseño de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio, para efectuar el análisis comparativo del diseño con los dos materiales. Además, se va a realizar la comparación tanto económica como del proceso constructivo y su mantenimiento. Con este trabajo de titulación se logrará escoger un material que presente mejores técnicas constructivas y de mantenimiento, analizando que material presenta menores pérdidas económicas para la producción horaria de la central hidroeléctrica durante su proceso de mantenimiento.

#### 1.4. Metodología

Para realizar la investigación se llevará a cabo el análisis del comportamiento de los materiales en cuanto a la resistencia que estos presenten en la presión. Utilizando hojas de cálculo elaboradas por las autoras, se obtendrá la presión en la tubería, dependiendo del material y basándose en las normativas que controlan las tuberías de alta presión.

Para la comparación del proceso constructivo de la tubería también se requiere investigación de campo y comparación de la información obtenida durante la recolección de datos de la misma, para un posterior diseño de la tubería de presión utilizando poliéster reforzado con fibra de vidrio; además se requiere investigar sobre el comportamiento del material durante su vida útil y los procesos de mantenimiento que se requiere, tomando en cuenta el costo de cada una para su comparación y obtención de resultados.

## CAPÍTULO II.

### FUNDAMENTACIÓN TEORICA

#### 2.1. Centrales hidroeléctricas

##### 2.1.1. Definición

Se define como central hidroeléctrica a un conjunto de elementos estructurales y mecánicos, que tienen como objetivo el aprovechamiento de la altura y del caudal de un río para la producción de energía eléctrica.

En la construcción de centrales hidroeléctricas el principal propósito es tener un máximo aprovechamiento de la energía, tanto potencial como cinética, que proporciona el cuerpo de agua por los desniveles existentes en la topografía de las diferentes regiones.

La construcción de centrales hidroeléctricas soluciona problemas económicos y ambientales que nacen de la necesidad de las personas para abastecerse de energía eléctrica, cuya demanda crece a pasos acelerados, tomando en cuenta que es un tipo de energía renovable que no ocasiona daños irreversibles en el medio ambiente, sustituyendo a centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles que generan residuos de humo, que ocasionan el calentamiento global.

##### 2.1.2. Clasificación de centrales hidroeléctricas

La clasificación está dada de acuerdo a la altura neta de salto y según la potencia instalada se determina el tipo de infraestructura necesaria para tener un correcto aprovechamiento hidroeléctrico.

###### 2.1.2.1. Según la altura neta de salto

**Tabla 2.1.** Clasificación según altura neta de salto.

Saltos de pequeña altura	$H \leq 14.99\text{m}$
Saltos de mediana altura	$15 \leq H \leq 49.99\text{m}$
Saltos de gran altura	$H \geq 50\text{ m}$

Fuente: Ortiz, 2011

###### 2.1.2.2. Según la potencia instalada

**Tabla 2.2.** Clasificación según la potencia instalada.

Micro centrales	$P_a < 100\text{ kw}$
Centrales de pequeña de potencia	$100 \leq P_a \leq 1000\text{kw}$
Centrales de media potencia	$1000 \leq P_a < 10000\text{ kw}$
Centrales de gran potencia	$P_a \geq 10000\text{kw}$

Fuente: Ortiz, 2011

## 2.2. Componentes de una central.

Las centrales hidroeléctricas están compuestas por diversos elementos que se encargan de controlar la energía de los cuerpos hídricos, para la transformación de energía potencial y cinética en energía eléctrica, estos se dividen en dos grupos que son los elementos de obra civil y el equipamiento electromecánico (Sanz, 2008).

### 2.2.1. Embalse y Presa.

Se define como embalse al volumen de agua retenida en alguno de sus puntos por una presa.

### 2.2.2. Azud.

El azud es un elemento estructural que forma parte de una central hidroeléctrica que se encuentra ubicado perpendicular al cauce del río que tiene el objetivo de elevar el cauce y tener una zona de aguas tranquilas para de esta manera conducir el agua necesaria para la central (Sanz, 2008).

### 2.2.3. Captación.

En una central hidroeléctrica las obras de captación tienen por objetivo captar el recurso del afluente, aprovechando el caudal del cuerpo hídrico para accionar las turbinas que generaran la energía eléctrica.

Las obras de captación deben cumplir las siguientes condiciones:

- Se debe captar una cantidad constante del caudal.
- Las obras de captación deben impedir la entrada de materiales sólidos, flotantes y de suspensión.
- Cumplir con las normas de seguridad vigentes para este tipo de obra.
- La obra de conducción debe estar compuesta de una estructura de retención, que tiene por objetivo estabilizar una cota de nivel a cualquier caudal del río.
- Es necesario la construcción de una obra de toma para garantizar la captación del caudal del diseño de la central hidroeléctrica.
- Uno de los elementos más importantes de la obra de captación es la rejilla ya que es la encargada de retener el material sólido flotante presente en el cauce del río (Ortiz, 2011).

### 2.2.4. Conducción.

Estas obras conducen el caudal que será aprovechado del recurso hídrico, una vez que el mismo pasa por las obras de captación, por la bocatoma, para ser transportado a través de un canal que puede ser a cielo abierto o por un canal cerrado que mantenga la presión atmosférica.

Las obras de conducción tienen un trazado que depende de la topografía del terreno en donde se encuentre el proyecto que se está realizando y por este motivo es necesaria la utilización de obras especiales como sifones, túneles e incluso rellenos, dependiendo de la situación.

#### 2.2.4.1. Canal.

En esta obra de conducción se debe tomar en cuenta que es necesario tener un calado y una velocidad igual a lo largo del tramo, para que de esta manera el gradiente hidráulico y geométrico del cauce sea constante.

#### 2.2.4.2. Túnel.

Se define como túnel a una obra de construcción subterránea que se utiliza en caso de que sea más económico atravesar de esta forma la topografía del sector, que trazar un canal que pase por el contorno, también se considera la construcción del túnel cuando la pendiente transversal del terreno supera el 45% o el material presente en la zona no asegura la estabilidad del canal (Ortiz, 2011).

#### 2.2.4.3. Aliviadero.

Los vertederos constituyen una disposición constructiva en forma de canal, que permite evacuar el caudal sobrante pasando por la coronación de la presa o del azud.

De esta forma, si el agua supera cierta altura, pasa por el aliviadero de forma controlada, evitándose el riesgo de que lo haga por encima de la propia presa, lo que podría causar su destrucción (Sanz, 2008).

#### 2.2.5. Desarenador.

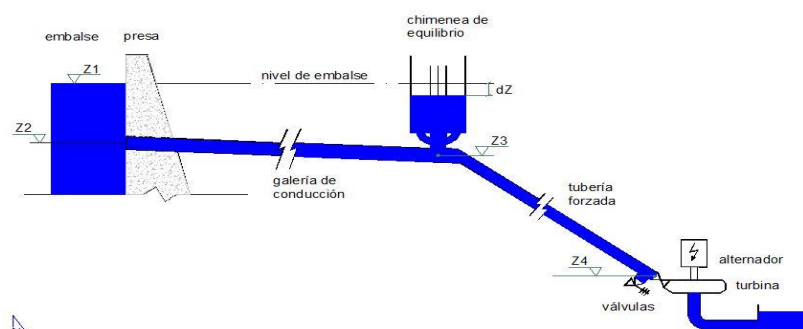
El desarenador es un elemento de las centrales hidroeléctricas que se encarga de la sedimentación de partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el agua de la conducción. El volumen de sólidos presentes depende de las crecidas que tiene tanto para ríos de montaña como para ríos de llanuras, que son de 4 al 6% del volumen del caudal y del 0.2 al 1% respectivamente (Ortiz, 2011).

#### 2.2.6. Cámara de carga.

Esta cámara está encargada de unir un sistema de alta presión con uno de baja presión, que tiene velocidades diferentes, esta cámara está diseñada para condiciones críticas de operación que generen golpe de ariete (Ortiz, 2011).

#### 2.2.7. Chimenea de equilibrio.

Se define como un depósito cilíndrico vertical que se encuentra en la zona horizontal de la tubería, para evitar el golpe de ariete (Sanz, 2008).



**Ilustración 2.1.** Esquema del sistema hidroeléctrico.

Fuente: (eselagua.com, 2015)



#### 2.2.8. Casa de máquinas.

Es el control de la central hidroeléctrica y donde se produce la energía eléctrica ya que aquí están situadas las diferentes turbinas (Valle, 2013).

#### 2.2.9. Rejillas.

La función principal de las rejillas, es evitar el paso de cuerpos sólidos en las conducciones, deben cumplir con espaciamientos mínimos que dependen de la ubicación y del tipo de salto, cuando la reja a instalar esté directamente al cauce del río, los barrotes que la conforman deben ser de espesores de entre 30 y 50 cm. Cuando el recorrido es directamente hacia la turbina, la reja genera una pérdida de carga que no es despreciable en el diseño.

Al diseñar las rejillas, debe también ser considerado la forma de los barrotes ya que las pérdidas que estos producen también son tomadas en cuenta. Se diseñan las rejillas a corte y a flexión ya que pueden quedar obstruidas, doblarse o romperse debido al empuje del agua a la entrada o a la succión a la salida (Sanz, 2008).

#### 2.2.10. Compuertas.

Estos elementos se instalan en diferentes componentes de la central hidroeléctrica como son: conducciones de agua a la entrada de la cámara de carga, canales, tuberías, aliviaderos, desagües de fondo. La clasificación de las compuertas está dada de acuerdo a su tipo de movimiento como son: De movimiento vertical y circular.

**Tabla 2.3.** Tipos de Compuertas verticales.

<b>TIPOS DE COMPUERTAS VERTICALES</b>	
<b>Deslizante</b>	Sirve para compuertas pequeñas, se usan en puntos con poco esfuerzo.
<b>Vagón</b>	Son para mejorar el movimiento en el interior de las guías, permiten esfuerzos mayores.
<b>Stoney</b>	Similar a la compuerta vagón, pero dentro de las guías laterales.
<b>Oruga</b>	Similar a los vehículos tipo oruga.

Fuente: (Sanz, 2008)

**Tabla 2.4.** Tipos de compuertas de movimiento circular

<b>TIPOS DE COMPUERTAS DE MOVIMIENTO CIRCULAR</b>	
<b>Segmento</b>	Estas compuertas tienen forma de segmento circular, son de acero laminado, la apertura se hace girando de forma ascendente y cierran al descender. Su cierre no es perfecto por lo que existen fugas en su base.
<b>Sector</b>	Esta compuerta baja para permitir el paso del agua, y sube para cerrar por lo que no existe un contrapeso en el eje.
<b>Clapeta</b>	Es una compuerta de tipo rectangular que se encarga de la regulación del nivel máximo del embalse, su movimiento es circular sobre un eje horizontal.

Fuente: (Sanz, 2008)

#### 2.2.11. Válvulas.

Se las conoce como los elementos de la central hidroeléctrica encargados del paso del agua, estas se encuentran en posición totalmente abierta o cerrada para evitar pérdidas de carga que se generan por las turbulencias al estar entre abiertas. Las válvulas se encargan de la regulación del caudal que ingresa en las centrales hidroeléctricas.

Existen cuatro tipos de válvulas que son: Compuerta, mariposa, esférica y de chorro hueco (Sanz, 2008).

#### 2.2.12. Turbinas.

Se define como turbina al elemento de la central hidroeléctrica que se encarga específicamente de la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica que en conjunto con el generador posteriormente se convertirá en energía eléctrica.

Los tipos de turbinas que se usan en las centrales hidroeléctricas dependen de la altura de salto y el caudal que el cuerpo hídrico proporcione para la generación de energía hidráulica.

Las turbinas se clasifican en dos grandes grupos que son turbinas de acción y reacción.

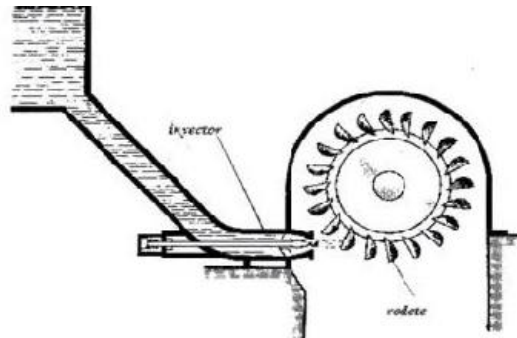
Para conocer la clasificación de las turbinas se realiza una relación matemática que depende de la energía de presión absorbida por la turbina y la energía total absorbida por la turbina que se expresa a continuación.

$$\sigma = \frac{\text{Energía de presión absorbida por la turbina}}{\text{Energía total absorbida por la turbina}}$$

Si  $\sigma = 0$  entonces se considera que la turbina será de acción mientras que si es diferente de 0 las turbinas se consideraran de reacción.

### **Turbinas de acción.**

Se considera como turbinas de acción a la maquinaria hidráulica que produce energía por el impulso generado por la alta velocidad del fluido, para lo que es necesario que la energía de presión del fluido se convierta en energía cinética.



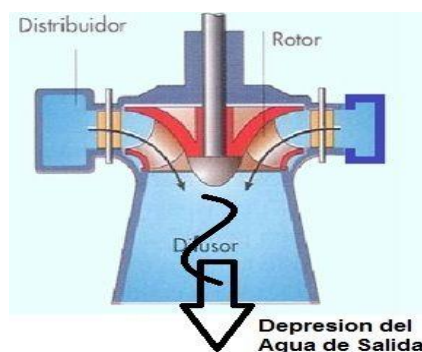
**Ilustración 1.2.** Turbinas de acción.

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>.

### **Turbinas de reacción**

Se define como maquinaria de admisión total, por lo tanto el agua entra y recorre por la periferia, por lo que la dirección y el giro del rodete no coinciden con la dirección del movimiento del agua de esta manera la presión de entrada y de salida del agua es diferente, siendo la de salida menor.

Las turbinas de reacción utilizan tanto energía cinética como de presión, el agua que llega al rodete transmite una energía de presión que luego se transforma en energía cinética.



**Ilustración 2.3.** Turbina de reacción.

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>.

## 2.3. Tubería de presión.

### 2.3.1. Definición.

Se considera como tubería de presión a aquella tubería capaz de soportar grandes presiones, y es la que se encarga de transportar agua desde la captación hasta las turbinas, tomando en cuenta los casos de estudio basados en el diseño de mini centrales hidroeléctricas. Se debe tomar en consideración el diseño más óptimo, el cual disminuya los costos tanto de construcción como de mantenimiento de una pequeña central hidroeléctrica (Coz, 1995).

### 2.3.2. Características hidráulicas

Las características que más influyen en el funcionamiento de la tubería son: caudal, altura neta, velocidad del agua, pérdidas de carga y presión, tomando en cuenta que la base fundamental de las características mencionadas es la geometría de la tubería (Sanz, 2008).

### 2.3.3. Número conveniente de tuberías.

Para seleccionar un número adecuado de tuberías se consideran dos aspectos; el número de turbinas instaladas, el costo de producción, instalación y mantenimiento. Tomando en cuenta que el caudal y las pérdidas de carga son las mismas, se concluye que la inversión para una sola tubería va a ser menor que para varias tuberías por lo que se busca un diseño óptimo tanto en cantidad, como en pérdidas y costo (Coz, 1995).

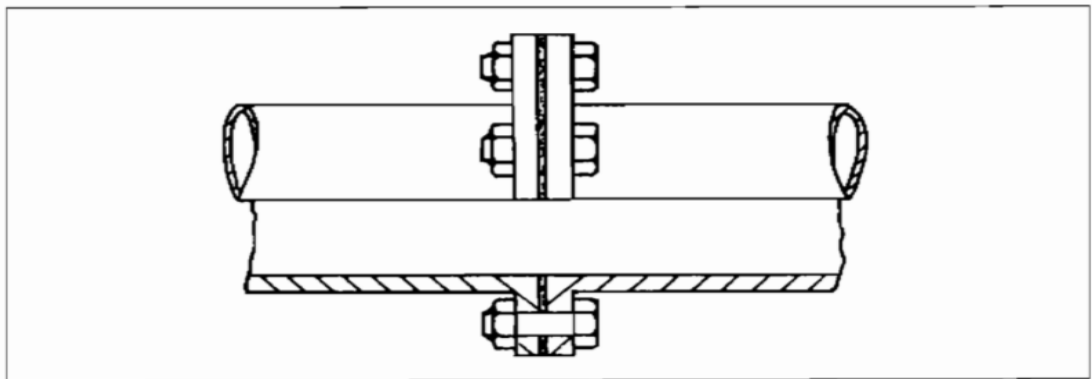
### 2.3.3. Pasos para seleccionar una tubería de presión.

1. Tomar en cuenta la disponibilidad y dimensiones (diámetro y espesor) de los materiales en el mercado.
2. Hacer una tabulación de resultados donde se tomen en cuenta las pérdidas por fricción en diferentes tipos de materiales y diámetros.
3. Hacer una tabulación de resultados donde se tomen en cuenta el golpe de ariete, el tipo de material y los espesores a ser utilizados.
4. Realizar una tabla evaluando el costo – beneficio de cada uno de los materiales disponibles en el mercado.
5. El diámetro seleccionado debe cumplir con el diseño óptimo (menor costo y menores pérdidas de energía).

#### 2.3.4. Tipos de uniones de la tubería de presión.

##### 2.3.4.1. *Embridada*

Las bridas son elementos de unión las cuales se empernan para unir la tubería de presión con otro tramo de la misma tubería esto se lo realiza durante su instalación. Se debe poner un caucho el cual es colocado en cada par de bridas para así protegerlas, este tipo de unión es de fácil instalación pero ocasiona un incremento del costo de la tubería de presión.



**Ilustración 2.4.** Unión con bridas.

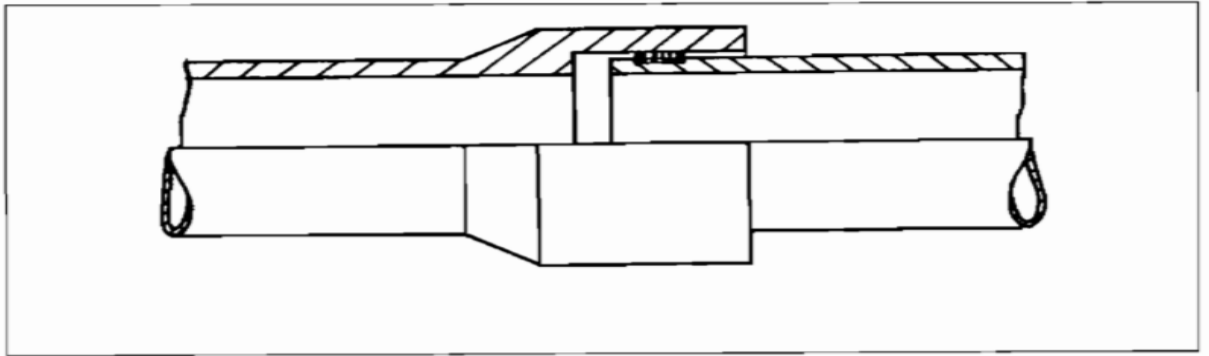
Fuente: Coz, 1995.

##### 2.3.4.2. *Espiga y Campana*

Este tipo de unión viene lista para usar desde su fabricación por lo tanto en sus dimensiones el diámetro de la campana es el mismo que el de la tubería de presión, estas al igual que las uniones con bridas necesitan sello de caucho o un pegamento para tubería.

Precauciones al realizar la unión espiga y campana

1. Se debe considerar que el sello este limpio y seco; se recomienda preferiblemente no hacer uniones en días lluviosos.
2. Utilizar lubricante especial o jabón para la instalación, nunca hacer con aceite a base de grasa porque daña la unión, también se debe mantener especial cuidado en que la unión este correctamente instalada porque estas uniones son difíciles de separar.
3. Tener un especial cuidado con pegamento disolvente ya que este contiene gases tóxicos que afecta la salud de las personas por lo que se debe tener un control correcto del pegamento utilizado.

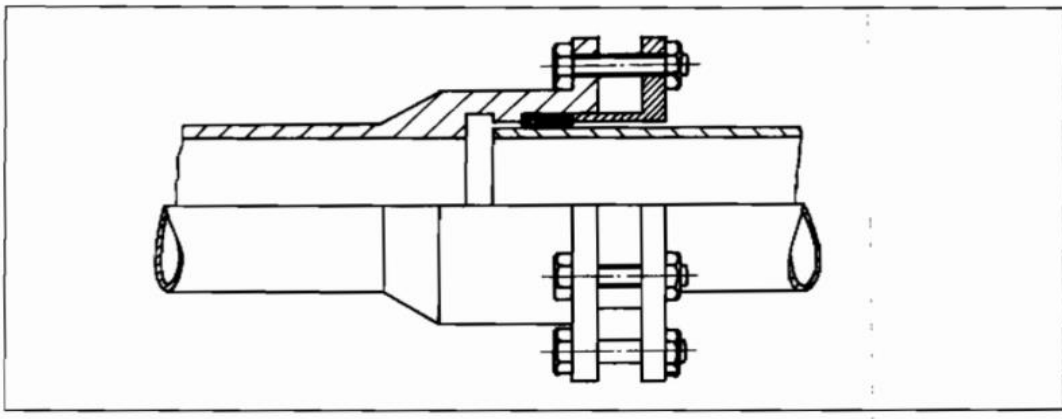


**Ilustración 2.2.** Unión espiga campana.

Fuente: Coz, 1995.

#### *2.3.4.3. Uniones mecánicas*

Esta unión no es usada normalmente en tubería de presión por el alto costo que esta representa, la aplicación más común de esta unión se da al tener la necesidad de unir diferentes materiales como por ejemplo: Acero con PVC o también es utilizada en casos que se necesite realizar deflexiones en la tubería y no se pueda utilizar codos. Se debe tomar en cuenta que las uniones mecánicas no soportan fuerzas en la dirección de la tubería y es necesario anclar.



**Ilustración 2.6.** Uniones mecánicas.

Fuente: Coz, 1995.

#### *2.3.4.4.Uniones soldadas*

Este tipo de unión es usada para tuberías de acero y polietileno. En cuestión de costo es una unión más económica; pero tiene complejidad en el tipo de personal que se necesita para la instalación, el personal debe ser especialista en realizar soldaduras, también es necesario llevar maquinaria la cual es difícil de transportar, también se necesita una fuente de energía. El transporte dado la topografía en la ubicación de las centrales hidroeléctricas generalmente es complicado, por lo tanto también complica el uso de este tipo de uniones.

En la instalación de la tubería de polietileno se debe tener especial cuidado al colocarlos en los moldes calientes. Para realizar la unión se debe tomar en cuenta la temperatura correcta usada para los moldes y el tiempo de aplicación, de esta manera se logra que el material quede líquido y al secarse se produzca una soldadura por fusión; para realizar este proceso de forma más rápida se necesita experiencia del personal especializado en soldadura.

#### *2.3.5. Consideraciones para diseño*

El material se lo elige tomando en cuenta el costo, la facilidad de mantenimiento, la operación, las características del salto, y todo tipo de implemento como codos, uniones y la longitud de la tubería.

El diámetro se calcula para que las pérdidas por operación sean menor al 4% del salto bruto y de esta manera conseguir un diseño óptimo.

El diseño del espesor debe ser calculado para que soporte todo tipo de fuerza al que va a estar sometido, como el de presión y depresión pero se debe poner especial énfasis en la de golpe de ariete, porque si este es demasiado grande puede generar ruptura en la tubería.

Formas de instalación de tubería de presión

1. Aéreas
2. Enterradas

##### *2.3.6.1.Tuberías Aéreas*

Se realiza este tipo de instalación cuando las condiciones de los apoyos son favorables; una de las ventajas más importantes de esta instalación es que necesita menos obras civiles porque no tiene presión del suelo como en el caso de las tuberías enterradas, también son más fáciles de dar mantenimiento. Las desventajas de este tipo de instalación es estar al aire libre, por lo que tiene más influencia del clima y esto hace que tenga que aumentar la cantidad de apoyos necesarios para disminuir la influencia del clima en la tubería de presión, los apoyos deben permitir dilataciones y contracciones. En el aspecto medio ambiental dada la ubicación de las centrales hidroeléctricas con tuberías de presión aéreas, tiene un gran impacto en el paisaje dependiendo del lugar donde esté ubicada (Sanz, 2008).

### 2.3.6.2. Tuberías enterradas

Como ventaja de esta instalación al contrario de la tubería aérea esta produce menor impacto ambiental y también en paisajismo, pero para hacer este tipo de instalación se debe tomar en cuenta los aspectos geotécnicos del terreno que permita una instalación segura.

Las desventajas de esta instalación son en el momento de la construcción, al ser una tubería que está bajo tierra se necesita un gran movimiento de masas, durante el proceso de instalación se genera un gran impacto ambiental y un aumento de los costos, después de realizar la excavación de las zanjas se debe asegurar que el suelo sea estable para evitar desmoronamientos durante la instalación de la tubería.

Uno de los principales inconvenientes en la instalación subterránea es que al estar la tubería enterrada complica el proceso de mantenimiento, ya que es de difícil acceso a diferencia de la instalación aérea; en cuanto al diseño se debe realizar más obras civiles para así asegurar el cuidado de la tubería, al estar la tubería bajo tierra esta necesita protección para evitar la corrosión producida por los minerales presentes en el suelo y las infiltraciones.

### 2.3.7. Válvulas para tubería de presión

Las válvulas son las encargadas de controlar el paso del agua por la tubería, al restringir completamente el paso del agua en una sección de la tubería al cerrar la válvula se puede hacer el mantenimiento de la misma.

#### Tipos de válvulas de presión en micro y mini centrales hidroeléctricas

##### 2.3.7.1. Válvula de compuerta

La válvula de compuerta consiste en un disco metálico, que se abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchillo para de esta forma dejar pasar el fluido, estas válvulas no están diseñadas para regular la cantidad de fluido que pasa, por lo que deben estar completamente abiertas o completamente cerradas para que el interior no se desgaste de forma prematura, son mayormente utilizadas debido a su fácil accesibilidad y bajo costo, sin embargo su principal desventaja es que su cierre es muy lento y al ser muy pesadas son de difícil mantenimiento (SCFLUIDS, 2009).



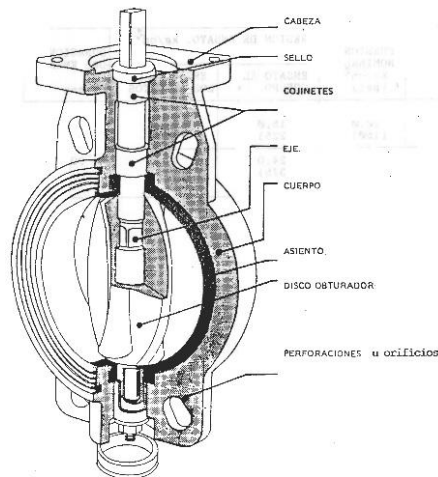
**Ilustración 2.7.** Válvula de compuerta.

Fuente: [www.valvias.com](http://www.valvias.com)



### 2.3.7.2. Válvula de mariposa

La válvula de mariposa es una extensión de la tubería donde se coloca un disco en forma de lente montado en un eje central, es de fácil utilización porque el disco iguala las presiones y esto hace que el manejo de esta válvula sea más fácil para cerrar y abrir. Para no producir golpe de ariete en la tubería de presión, es necesario cerrar la válvula lentamente (Coz, 1995).



**Ilustración 2.3.** Válvula mariposa.

Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

## 2.4. Potencia y energía.

### 2.4.1. Energía

La energía es la capacidad de realizar trabajo y está dividida en dos: energía cinética y energía potencial. La primera es la energía que se produce por la velocidad y la segunda es la energía que se produce por el cambio de altura y su caída. En el caso de la hidráulica a la energía potencial se la divide en dos que son: energía de elevación y energía de presión.

#### *Energía cinética*

La energía cinética es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo producido por la velocidad del mismo, si cada partícula individual del cuerpo tiene la misma velocidad. La ecuación para calcular la energía cinética será:

$$E.C. = W \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

E.C = Energía cinética [J]

W = Peso del cuerpo [kg m/s<sup>2</sup>]

V= Velocidad [m/s]

G = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Esta energía nos da en unidades de altura y es una cantidad lineal lo que significa que es la altura que necesita un cuerpo para caer al vacío y adquirir velocidad.

#### *Energía de elevación*

Esta energía como su nombre lo indica es la energía de elevación con respecto a un punto de referencia el cual puede ser una referencia horizontal, también la energía de elevación de una forma mejor explicada es con un cuerpo que se encuentra debajo de la línea de referencia y este va a tener una altura  $z$ , esta se considera como la altura producida por energía de elevación, como esta altura depende del eje de referencia si se encuentra debajo es  $-z$  y si se encuentra sobre el eje de referencia es  $+z$  (ilustración 2.9).

#### *Energía de presión*

La energía de presión solo se puede obtener con el contacto directo con otras masas que poseen cualquier otro tipo de energía por eso es diferente a las anteriormente mencionadas porque esta no puede producir solo un cuerpo, la energía de presión es también la energía transmitida a la masa a través de ella.

Para la hidráulica se toman varias consideraciones con las cuales se puede obtener una ecuación para calcular la energía total del cuerpo; se considera una sección homogénea con una velocidad promedio constante a lo largo de toda la trayectoria y de esta forma se obtiene la ecuación general para la obtención de la energía total del cuerpo (King, 1980).

$$E = \frac{v^2}{2g} + \frac{\rho}{w} + z$$

Dónde:  $E$  = Energía

$\frac{v^2}{2g}$  = Energía cinética

$\frac{\rho}{w}$  = Energía potencial de presión

$z$  = Energía de elevación

#### 2.4.2. Potencia

La potencia es la unidad con la que se realiza el trabajo, se mide en watts ( $w$ ), es la cantidad de trabajo realizado en un periodo de tiempo y también es llamado índice de realización del trabajo (Quirion, 2012).

La ecuación general para obtener la potencia es:

$$P = \frac{F \cdot d}{t} \text{ En unidades S.I}$$

Dónde:

$P$  = Potencia [ $w$ ]

$F$  = Fuerza [ $N$ ]

$d$  = Distancia [ $m$ ]

$t$  = Tiempo [ $s$ ]

Si se trabaja con caballos de fuerza se debe realizar las operaciones en el sistema inglés y se tiene que dividir cada término para 550.

Ecuación de potencia para la hidráulica aplicando energía:

$$QwE = Qw \frac{v^2}{2g} + Qw \frac{\rho}{w} + Qwz$$

Aplicando esta ecuación se encuentra la potencia hidráulica con energía potencial y cinética.

Dónde:

$QwE$  = Potencia

$Qw \frac{v^2}{2g}$  = Energía cinética transformada en unidades de potencia

$Qw \frac{\rho}{w}$  = Energía potencial de presión transformada en unidades de potencia

$Qwz$  = Energía de elevación transformada en unidades de potencia

## 2.5. Gradiente hidráulico y de energía

### 2.5.1. Gradiente hidráulico

Se define como gradiente hidráulico al lugar geométrico de las elevaciones a las que se eleva el líquido en tubos piezómetros sucesivos, por ende se trata de una representación gráfica respecto a cualquier nivel de referencia escogido, de la carga potencial o energía que posee el líquido en todas las secciones de la tubería.

En el gradiente hidráulico se suman las cargas de presión estática y de elevación por lo que se encuentra por debajo de la línea de energía.

Carga de presión estática:  $\frac{P}{\gamma}$

Elevación:  $z$

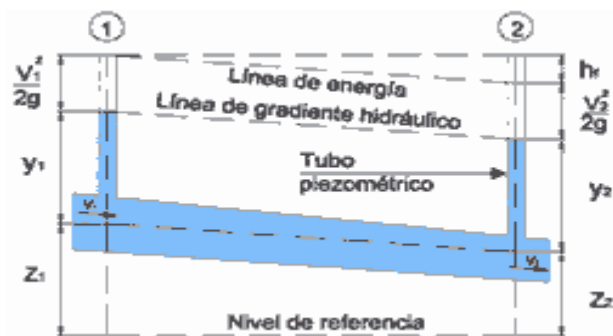
Gradiente hidráulico:  $\frac{P}{\gamma} + z$

### 2.5.2. Gradiente de energía

El gradiente de energía está por encima del hidráulico, a una distancia igual a la carga de velocidad en cada sección; por ende se trata de una representación gráfica, respecto al nivel de referencia escogido de la carga total o energía que posee el líquido.

Carga de elevación:  $\frac{v^2}{2g}$

Gradiente de energía:  $\frac{P}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g}$



**Ilustración 2.9.** Gradiente hidráulico y de energía en tuberías.

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/12/comparacion-entre-flujo-en-tuberias-y.html>

## 2.6. Golpe de ariete y cavitación.

### 2.6.1. Golpe de ariete

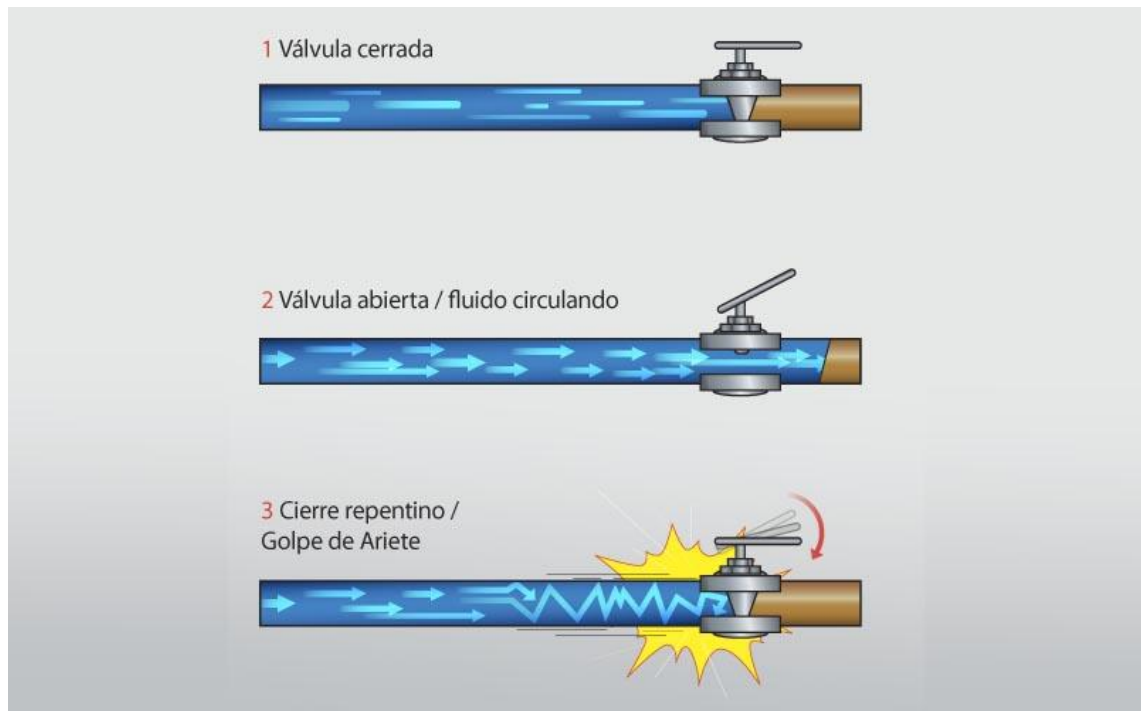
El golpe de ariete es una sobrepresión la cual se forma por el cierre brusco de una válvula instalada en el extremo de la tubería de presión, el fenómeno se produce porque al cerrar la válvula las partículas se empiezan a detener y las que se encuentran detrás de ellas las empujan ya que estas siguen en movimiento y se forma una sobrepresión, la cual si se produce con mucha velocidad puede causar problemas a la tubería hasta que llegue al punto de ruptura o a tener fisuras. Esta sobre presión tiene dos efectos en el agua, primero comprime el agua, esto produce una reducción del volumen y posterior dilatación de la tubería, cuando toda el agua que pasa por la tubería se ha detenido está tiende a expandirse y la tubería dilatada regresa a sus dimensiones originales; la unión de estos dos efectos provoca otra onda de presión en el sentido contrario.

Al producirse estos dos efectos del agua y la tubería, y crearse la presión con el sentido contrario cuando se cierra la válvula esta produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería y el agua está en estado gaseoso; eso provoca que se formen burbujas de aire.

La forma de contrarrestar el efecto que produce el golpe de ariete en la tubería de presión es poner un elemento amortiguador como una válvula check antes de la válvula de mariposa para así disipar la fuerza con la que llega el agua de la tubería a las hélices de las turbinas y la otra parte de esta sobrepresión se libera por efecto de la resistencia a la compresión del agua y la misma dilatación que sufre la tubería.

Este afecto también se puede provocar de forma contraria al abrir la válvula de forma brusca y ocasionar que las partículas en el agua se muevan rápidamente y esto crea una sub presión con sentido contrario que va a ser de signo negativo y contrario al del efecto anterior pero con las mismas formas de disiparlo.

El golpe de ariete puede ser positivo o negativo este depende de la dirección de la onda y si esta se encuentra con presión negativa o presión positiva (Ortiz, 2011).



**Ilustración 2.10.** Tipos de presión.

Fuente: <https://www.0grados.com>

Ecuación para el cálculo de la presión ejercida por el golpe de ariete tomando en cuenta la elasticidad.

$$\Delta p = K * \frac{\rho * \Delta L * v}{\Delta t}$$

Dónde:  $\Delta p$ = Presión por golpe de ariete

$\Delta L$ = Longitud de la tubería de presión

$v$ = Velocidad en la tubería de presión

$\Delta t$ = Tiempo de detención de la masa de agua que fluye por la tubería de presión

$K$ = Módulo de elasticidad

$\rho$ = Densidad

Presión para un cierre instantáneo

$$\Delta p = \rho c v$$

Dónde:  $\Delta p$ = presión por golpe de ariete

$c = \frac{\Delta L}{\Delta t}$  Velocidad del sonido en el agua

$v$ = Velocidad en la tubería de presión

$\rho$ = Densidad

Ecuación de velocidad de onda de presión cuando el líquido se comprime y las paredes del tubo se expanden

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 + \left(\frac{E_0}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right))}} \text{ en m/s}$$

Dónde:  $c$  = velocidad del sonido del agua

$E_0$  = módulo de elasticidad del agua 2000 Mpa

$E$  = módulo de elasticidad del material de la tubería de presión

$e$  = espesor de la tubería de presión

$D$  = diámetro de la tubería de presión

$\rho$  = Densidad del agua

Ecuación de la sobrepresión  $\Delta H$

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

Donde:  $\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$  Aumento de la caída con un golpe de ariete positivo

Soluciones para evitar el golpe de ariete en la tubería de presión

1. Cerrar la válvula lentamente
2. Desviar el agua
3. Utilizar chimeneas de equilibrio

Para cerrar de forma correcta y así evitar el golpe de ariete debemos cerrar con un tiempo superior a la ecuación:

$$T = \frac{2 * L}{v_0}$$

Dónde:  $T$  = tiempo

$L$  = es la longitud de la tubería

$v_0$  = Velocidad de la onda

Para la segunda solución se debe crear una bifurcación la cual será la encargada de disipar la energía que tiene el agua para así volver a su cauce y para esto se recomienda que se utilice una válvula de chorro hueco.

La tercera solución aunque es más costosa es necesaria cuando se tiene grandes longitudes de tubería, su mayor inconveniente es el espesor que se necesita para que ésta pueda soportar el golpe de ariete. La chimenea de equilibrio es un depósito cilíndrico vertical ubicado en la zona horizontal de la tubería y conectado a un orificio de dimensiones determinadas, se emplea para grandes longitudes de tubería, ya que se tiene dos o más zonas de tubería de presión, una es horizontal o con mínima pendiente y la otra es de gran pendiente que llega a la casa de máquinas (Sanz, 2008).

### 2.6.2. Cavitación

La cavitación es un fenómeno físico en el cual un líquido se convierte en estado gaseoso y forma burbujas de aire y pasado un tiempo vuelve a estado líquido, estas se llaman burbujas de cavitación porque forman cavidades en el líquido estas se desintegran conforme son llevadas hacia las zonas de baja presión y genera ondas de alta presión las cuales son muy destructivas para la tubería, este fenómeno causa la caída en el rendimiento y erosión de las aspas de las turbinas.

La cavitación debe evitarse ya que esto reduce el rendimiento en la tubería, también crea gran daño en los equipos, genera vibraciones y ruidos molestos. Si se desintegran las puntas durante un tiempo largo esto puede causar erosión, picadura en la superficie, falla por fatiga y la destrucción parcial o completa de los equipos en la central hidroeléctrica la forma de detectar la cavitación es su sonido fuerte el cual se produce cuando se tiene este cambio de estado líquido a gaseoso y de gaseoso a líquido (Cengel, Cimbala ,2006).



**Ilustración 2.11.** Cavitación en los alabes de las turbinas.

Fuente: <https://ferjassoac.blogspot.com/2016/05/cavitacion.html>

### Consideración general para evitar la cavitación en centrales hidroeléctricas

Para evitar la cavitación en las turbinas estas deben ser instaladas a una altura mínima de  $H$  con respecto al nivel del agua de la salida en el canal de desagüe, la fórmula para el cálculo de esta altura es:

$$H_t = H_a - H_v - \sigma_T * H$$

Donde:  $H_a = \frac{P_a}{\gamma}$  = Altura en metros de la columna de agua equivalente a la presión atmosférica en el lugar de ubicación de la turbina.

$H_v = \frac{P_v}{\gamma}$  = Presión del vapor del agua, en metros de columna de agua, a su paso por la turbina

$H$  = Salto bruto del emplazamiento en metros

$\sigma_T$  = Coeficiente de cavitación o coeficiente de toma

$P_a$  = Presión atmosférica y presión [Pa] o [N/m<sup>2</sup>]

$P_v$  = Presión de vapor de agua [Pa] o [N/m<sup>2</sup>]

$\gamma$  = Peso específico del agua = 9800 [N/m<sup>3</sup>]

#### 2.7. Materiales utilizados en tubería de presión.

##### Tubería de acero

El acero como material para la fabricación de tuberías de presión es el más utilizado por sus facilidades de construcción, gracias a este material se pueden lograr diámetros y espesores requeridos en los diseños constructivos, la vida útil de este material de ser bien cuidado puede durar más de 20 años, además su mantenimiento es práctico ya que podría ser protegido por una capa de pintura anticorrosiva.

Las uniones que se utilizan para este tipo de material en tuberías son bridas, soldaduras y juntas mecánicas. Este material tiene una desventaja que es, la corrosión (Ortiz, 2011).



**Ilustración 2.12.** Tubería de Presión antigua central hidroeléctrica Guangopolo.  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)





**Ilustración 2.13.** Tubería de presión central hidroeléctrica Cumbayá.

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tubería de hormigón armado.**

Este tipo de tuberías tienen la capacidad de soportar grandes presiones, pero tanto su instalación como mantenimiento es lenta y laboriosa; son difíciles de realizar en sitio.

Las tuberías hechas de hormigón armado se realizaban con asbesto cemento, estas producen una gran pérdida por fricción, y su mantenimiento es más complejo que los demás materiales (Ortiz, 2011).



**Ilustración 2.14.** Tubería de presión de hormigón en la central hidroeléctrica Cumbayá.

Fuente: <http://hipertiki.blogspot.com>, 2013

### **Tubería de polietileno.**

Las tuberías de polietileno sirven para centrales hidroeléctricas de mediana y baja altura es decir menores de 35m. Esta tubería generalmente va enterrada, una de sus principales desventajas es que pierde sus propiedades y características con el tiempo.

Para alturas de 160 m existe un polietileno de alta densidad y puede ser instalado al aire libre, uno de sus mayores inconvenientes son sus grandes radios de curvatura que deben superar a los diámetros de la tubería en 30 a 40 veces más, para lo que es necesario maquinaria pesada para realizar la unión de las mismas.

Este tipo de tuberías tiene un coeficiente de fricción bajo, son resistentes a la corrosión cuando están expuestas a la luz solar. Estas tuberías son unidas gracias a la presión y el calor que fusionan a los extremos de las mismas (Ortiz, 2011).

### **Tubería de PVC.**

Este material es uno de los más empleados en las centrales hidroeléctricas especialmente en centrales de pequeño tamaño, es adecuada para grandes presiones, una de sus principales ventajas es que al variar el espesor de la misma se puede variar los niveles de presión, otro de sus grandes beneficios es que es liviana y muy manejable en terrenos de difícil ingreso.

Este material tiene un coeficiente de pérdidas por fricción bajos además es muy resistente a la corrosión por lo que su vida útil se extiende sobre otros materiales. Una de sus principales desventajas es que no es resistente a luz ultra violeta por lo que se recomienda usar en casos de tuberías enterradas.

El tipo de unión es con espiga campana y uniones elastómericas, estas uniones se usan con pegamento para mayor seguridad y adherencia (Ortiz, 2011).

### **Tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio.**

Este material tiene mejores características físicas ya que son livianas y poseen un coeficiente de fricción incluso menor que las tuberías de PVC, pueden soportar presiones elevadas, sin embargo son más frágiles y necesitan de mayor cuidado durante el proceso de colocación.

El tipo de unión es con espiga campana y sello flexible. Este tipo de material es muy resistente a la corrosión y su costo de mantenimiento se reduciría por esta característica.

## 2.8. Características físicas y mecánicas de los materiales acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio en tubería de presión para hidroeléctricas.

### 2.8.1. Acero.

El acero es considerado un material altamente satisfactorio para el uso en tuberías de presión ya que tiene una gran capacidad para resistir altas presiones y es de fácil mantenimiento, además este material cuenta con un desempeño satisfactorio en zonas de peligrosidad sísmica.

#### 2.8.1.1. Diámetros de tuberías de acero de alta presión.

Los tubos de acero son especialmente utilizados para el transporte de agua a altas presiones y sus diámetros comerciales pueden variar de 168 mm a 2540 mm, sin embargo los diámetros también dependen del fabricante. Para la realización de tuberías de acero de alta presión es recomendable utilizar acero no aleado y completamente desoxidado, de acuerdo a la norma UNE 36004:1989, para que este pueda ser posteriormente sometido a tratamiento térmico (Aragones, Arroyo, & Balairón, 2002).

#### 2.8.1.2. Presión de las tuberías.

Las tuberías de acero están diseñadas para soportar presiones de hasta 4136.85 bar y opera con presiones de 10.34 bar hasta 58.60 bar, por lo que este material ofrece alta seguridad.

El tubo de acero para agua puede soportar grandes presiones sin romperse ya que cuenta con una elongación del 22%, con este porcentaje de elongación puede además soportar tensión y presión sin alterar sus propiedades mecánicas (Urbaca.com, 1999).

**Tabla 2.5.** Características de la tubería de acero.

	GRUPO A	GRUPO B
Esfuerzo de fluencia: psi (min)	30.000	35.000
Esfuerzo de tensión: psi (min)	48.000	60.000
Porcentaje de elongación.	20% en prom.	20% en prom.

Fuente: [www.idrd.gov.co](http://www.idrd.gov.co)

#### 2.8.1.3. Sobrepresión y golpe ariete.

El tubo de acero para agua, con un factor de elongación del 22%, puede soportar tensión y presión sin romperse, aún bajo condiciones sísmicas, golpe de ariete, terremotos, altos cambios de temperatura, vibraciones de tráfico, cimientos débiles inestables, y explosiones (Urbaca.com, 1999).

#### 2.8.1.4. Resistencia a la corrosión

La principal característica de las tuberías de acero es que tiene propiedades inoxidables, lo que se consigue gracias al revestimiento de cromo y níquel que se utiliza para dar una gran resistencia a la corrosión de las tuberías. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para que toda la masa de la tubería tenga propiedades inoxidables.

Para el mantenimiento es recomendable utilizar tratamientos superficiales como pintura anticorrosiva en un periodo de tiempo determinado para prevenir la corrosión de la tubería.

### 2.8.2. Poliéster reforzado con fibra de vidrio.

La tubería de poliéster reforzada con fibra de vidrio es comúnmente utilizada para el transporte de fluidos gracias a su capacidad de resistencia a la corrosión y una alta resistencia mecánica por lo que es el material más utilizado actualmente.

#### 2.8.2.1. Diámetros comerciales

Estos varían de acuerdo al fabricante y para el caso que se detallará a continuación son valores tomados de la guía de diseño de la fábrica PAVCO.

Diámetros nominales (mm)				
300	700	1300	1900	2600
350	800	1400	2000	2800
400	900	1500	2100	3000
450	1000	1600	2200	
500	1100	1700	2400	
600	1200	1800	2500	

**Ilustración 2.4.** Diámetros nominales tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Fuente: Manual-Tecnico-Acueducto-GRP-Pavco.pdf

Los diámetros también son fabricados de acuerdo a las especificaciones del constructor.

#### 2.8.2.2. Presión de las tuberías.

Estas tuberías soportan grandes presiones por su refuerzo principal en sentido circunferencial y generalmente se usan en casos donde no existan fuerzas axiales.

Dependiendo del proveedor las tuberías pueden soportar presiones superiores a 16 bar por lo que requieren de una mayor cobertura para evitar movimiento verticales.

De acuerdo con la tabla obtenida de PAVCO se presentan las presiones comerciales existentes en el catálogo que esta empresa dispone.

Clase de presión		
Clase de presión PN (Bar)	Presión de trabajo PW (Bar)	Diámetro límite (mm)
1	1	3000
3	3	3000
6	6	3000
10	10	2800
12	12	2800
16	16	2400
20	20	1400
25	25	1400

**Ilustración 2.5.** Clases de presión.

Fuente: Manual-Tecnico-Acueducto-GRP-Pavco.pdf

#### *2.8.2.3. Velocidad de flujo.*

La velocidad de flujo puede variar de acuerdo al proveedor de las tuberías sin embargo se mantiene en una velocidad de 4m/s. Normalmente se podría considerar una velocidad de 2 o 3m/s por ser las velocidades más eficientes en las líneas de tuberías. La velocidad de diseño de la tubería puede cambiar de acuerdo a los materiales abrasivos existentes.

#### *2.8.2.4. Sobre presión y golpe de ariete.*

Las principales causas para que se produzca el golpe de ariete puede ser la rigidez circunferencial de la tubería, el cambio de velocidad repentino en el fluido, la compresibilidad dada por el mismo y el cambio de secciones en la configuración de la tubería.

Para hallar la sobre presión o golpe de ariete se usa la expresión que se muestra a continuación:

$$\Delta H = \frac{w * \Delta v}{g}$$

Donde:

$\Delta H$  = Diferencial de presión (m)

w = Celeridad de onda (m/s)

$\Delta V$  = Diferencial de velocidad del agua

g = Aceleración gravitatoria ( $m/s^2$ )

#### *2.8.2.5. Resistencia a los rayos UV.*

Las tuberías de poliéster de vidrio reforzado pueden soportar altas temperaturas de acuerdo a las especificaciones de cada uno de los fabricantes, estas tuberías pueden ser utilizadas en instalaciones exteriores y esto no afecta la vida útil de la misma.

### CAPÍTULO III.

#### COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN EN LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE PEQUEÑAS ALTURAS.

##### 3.1. Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Topo.

###### 3.1.1. *Información General del proyecto*

###### **Ubicación**

El proyecto hidroeléctrico Topo se encuentra ubicado en el cantón Baños de Agua Santa en la provincia de Tungurahua y utiliza las aguas del río Topo en la cuenca media-alta del río Pastaza en la vertiente amazónica.

###### **Coordenadas geográficas**

**Latitud N:** 1° 24' 11.45''

**Longitud E:** 78° 11' 35.01''



**Ilustración 3.1.** Ubicación central hidroeléctrica Topo.

Fuente: Google Earth, 2018.

### **Generalidades del proyecto**

El área de la cuenca estimada es de 375 km<sup>2</sup>, la ubicación con respecto al nivel del mar en cotas del proyecto es de 1530.5 msnm en el cual se encuentra ubicada la bocatoma de la obra de captación y 1359.5 msnm en donde se encuentra la casa de máquinas, la central hidroeléctrica tiene un caudal de diseño de 20 m<sup>3</sup>/s con una caída neta de 161 m, con una potencia instalada de 29,2 MW y con una producción de energía media anual de 222 GWh/año y se considera un caudal ecológico definido por SENAGUA de 4,72 m<sup>3</sup>/s.

### **Hidrología**

La central está ubicada en una cuenca con régimen de lluvias oriental, sus mayores precipitaciones son en los meses de abril y septiembre, generalmente la precipitaciones en todos los meses son de 200mm/mes

### **Geología**

La geología en el área de Baños de Agua Santa y en los ríos Negro y Topo tiene una combinación de varios tipos de suelos, también según los estudios del IGM en esta área se tiene 7 afloramientos rocosos, según estos estudios los tipos de suelos que más predominan son los inceptisoles, estos suelos son vestigios de ceniza volcánica muy antiguos, la cual forman suelos muy suaves y limosos de color amarillo, estos suelos tiene una capacidad de retención de agua del 100 y 200% de la humedad y los histosoles son mejor conocidos como turbas tiene un alto porcentaje de material orgánico y absorben altamente la humedad, estos suelos no son buenos para realizar ningún tipo de edificación porque cuando pierden su humedad producen grandes asentamientos (OT, 2015).

3.1.2. *Presentación de datos del diseño de la tubería de presión con acero.*

**Tabla 3.1.** Datos de la tubería de presión central Topo

<b>Tubería de presión</b>	
<b>MATERIAL</b>	Poliéster reforzado con fibra de vidrio y Acero
<b>NÚMERO DE TUBERIAS DE PRESION</b>	1 tubería de presión
<b>ALTURA DE CAÍDA</b>	165 m
<b>ALTURA DE DISEÑO</b>	150,44 m
<b>DIAMETRO</b>	2,6 m
<b>ESPESOR</b>	14 -15 mm
<b>CAUDAL MAXIMO</b>	22 m3/s
<b>CAUDAL MINIMO</b>	8 m3/s
<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>	20 m3/s
<b>VELOCIDAD MEDIA</b>	3.14 m/s
<b>LONGITUD DE LA TUBERIA DE PRESIÓN</b>	393 m
<b>Anclajes</b>	
<b>TIPO DE ANCLAJES</b>	Anclajes de Hormigón
<b>CHIMENEA DE EQUILIBRIO</b>	
<b>TIPO DEL MATERIAL</b>	-
<b>ALTURA</b>	-
<b>DIAMETRO INTERNO</b>	-
<b>Casa de maquinas</b>	
<b>TIPO DE TURBINAS</b>	Tipo Francis
<b>NUMERO DE TURBINAS</b>	2
<b>TIPO DE VALVULAS</b>	Tipo mariposa
<b>NÚMERO DE VALVULAS</b>	2

Fuente: Manual Técnico Ecuagesa.



## PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN USANDO ACERO

### Datos de diseño

$$Q=20 \text{ m}^3/\text{s por tubería}$$

$$H = 150.44 \text{ m cda}$$

$$\sigma_p=4220 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p=413.8132 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

### Densidad del agua

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

### Módulo de elasticidad del fluido

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

### Módulo de elasticidad del material

$$E = 210000 \text{ Mpa} - 2141404.05 \text{ kg/cm}^2$$

### Velocidad

$$v = 3.14 \text{ m/s}$$

### Gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

### Área de la tubería.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{20}{3.14} = 6.37 \text{ m}^2$$

### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{6.37 * 4}{\pi}}$$

$$D= 2.85 \text{ m}$$

$$R = 1.4 \text{ m}$$

### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = presión interior a ser resistida

$\sigma$  = esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = radio de la tubería

$$e = \frac{1.475 * 1.4}{413.8132} = 0.0049\text{m} - \mathbf{4.90 \text{ mm}}$$

### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.85}{0.0049}\right)}}$$

$$C = \mathbf{5.72 \text{ m/s}}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Peso específico del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.72 * 1.15 = \mathbf{6565.70}$$

$$\Delta p = \mathbf{65.65\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Peso específico del agua

$$\Delta H = \frac{6565.70}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.67$$

$$\Delta H = 67\%$$

### Recálculo de H

$$H = 150.44 * 1.67 = 251.25 \text{ m cda}$$

$$H = 2.46 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta tener una variación de 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = presión interior a ser resistida

$\sigma$  = esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = radio de la tubería

$$e = \frac{2.46 * 1.4}{413.8132} = 0.0083 \text{ m} = 8.33 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.85}{0.0083}\right)}}$$

$$C = 7.030 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$$\rho = \text{Peso específico del agua}$$

$$c = \text{velocidad de propagación de onda}$$

$$\gamma = \text{coeficiente del suelo}$$

$$\Delta p = 998.72 * 7.030 * 1.15 = 8075.025$$

$$\Delta p = 80.75\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$$\Delta p = \text{Variación de presión}$$

$$g = \text{gravedad}$$

$$\rho = \text{Peso específico del agua}$$

$$\Delta H = \frac{8075.025}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.82$$

$$\Delta H = 82\%$$

### Recálculo de H

$$H = 150.44 * 1.82 = 274.43 \text{ m cda}$$

$$H = 2.69 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta tener una variación de 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{2.69 * 1.4}{413.8132} = 0.0091m - \mathbf{9.10\ mm}$$

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.85}{0.0091}\right)}}$$

**C= 7.27 m/s**

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Peso específico del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 7.27 * 1.15 = \mathbf{8349.19}$$

$$\Delta p = \mathbf{83.49\%}$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Peso específico del agua

$$\Delta H = \frac{8349.19}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.85$$

$$\Delta H = 85\%$$

### Recálculo de H

$$H = 150.44 * 1.85 = 278.64 \text{ m cda}$$

$$H = 2.73 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta tener una variación de 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{2.73 * 1.4}{413.8132} = 0.0092 \text{ m} - \mathbf{9.20 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.85}{0.0092}\right)}}$$

$$C = \mathbf{7.31 \text{ m/s}}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = *Peso específico del agua*

$c$  = *Velocidad de propagación de onda*

$\gamma$  = *Coeficiente del suelo*

$$\Delta p = 998.72 * 7.31 * 1.15 = \mathbf{8396.81}$$

$$\Delta p = \mathbf{83.96\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = *Variación de presión*

$g$  = *Gravedad*

$\rho$  = *Densidad del agua*

$$\Delta H = \frac{8396.81}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.86$$

$$\Delta H = \mathbf{86\%}$$

### Recálculo de H

$$H = 150.44 * 1.86 = 279.37 \text{ m cda}$$

$$\mathbf{H = 2.73 \text{ MPA}}$$

Se calcula la variación de altura hasta conseguir una variación de 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = *Presión interior a ser resistida*

$\sigma$  = *Esfuerzo de trabajo del acero*

$R$  = *Radio de la tubería*

$$e = \frac{2.73 * 1.4}{413.8132} = 0.00926m - \mathbf{9.26\ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.85}{0.00926}\right)}}$$

$$C = \mathbf{7.318\ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Peso específico del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 7.318 * 1.15 = \mathbf{8405.022}$$

$$\Delta p = \mathbf{84.05\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{8405.022}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = \mathbf{0.86}$$



$$\Delta H = 86\%$$

### Recálculo de H

$$H = 150.44 * 1.86 = 279.49 \text{ mca}$$

$$H = 2.74 \text{ MPA}$$

### ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESIÓN CON ACERO EN LA CENTRAL TOPO

$$e \text{ calculado} = 9.26 \text{ mm}$$

$$e \text{ por desgaste} = 5 \text{ mm}$$

$$e \text{ por golpe de ariete} = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de diseño} = 17.26 \text{ mm}$$

3.1.3. *Diseño de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.*

3.1.3.1. *Parámetros y criterios de diseño.*

#### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = presión interior a ser resistida

$\sigma$  = esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = radio de la tubería

#### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Modulo de elasticidad del material

$E_o$  = Modulo de elasticidad del fluido

#### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g = \text{gravedad}$

$\rho = \text{Peso específico del agua}$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho = \text{Peso específico del agua}$

$c = \text{velocidad de propagación de onda}$

$\gamma = \text{coeficiente del suelo}$

#### **3.1.3.2. Sobrepresión por golpe de ariete.**

Se conoce como golpe de ariete a la sobrepresión generada, por el cierre inesperado de una válvula colocada en el extremo de la tubería de presión. Lo que ocasiona que las partículas de agua que se detuvieron inicialmente sean empujadas por las partículas de agua en movimiento que se encontraban a una mayor velocidad.

La sobrepresión que genera el golpe de ariete equivale a un aumento en la caída la cual se calcula con la siguiente formula:

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p = \text{Variación de presión}$

$g = \text{gravedad}$

$\rho = \text{Peso específico del agua}$

El cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete se realizará hasta que este tenga una variación en porcentaje del 1%.

$$\Delta H = \frac{618.54}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.06$$

$$\Delta H = 6\%$$

#### **3.1.3.3. Diseño de la tubería**

##### **Datos de la central**

$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$  por tubería

$H = 150.44 \text{ m cda}$

$H = 1.475 \text{ MPA}$

$$\sigma_p = 3059 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_p = 299.96 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

**Peso específico del agua**

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

**Módulo de elasticidad del fluido**

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

**Módulo de elasticidad del material**

$$E = 15000 \text{ Mpa} - 152957.43 \text{ kg/cm}^2$$

**Velocidad**

$$v = 3.8 \text{ m/s}$$

**Gravedad**

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

**Área de la tubería.**

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{20}{3.8} = 5.26 \text{ m}^2$$

**Diámetro de la tubería**

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{5.26 * 4}{\pi}}$$

$$D = 2.59 \text{ m}$$

$$R = 1.3 \text{ m}$$

**Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = presión interior a ser resistida

$\sigma$  = esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = radio de la tubería

$$e = \frac{1.475 * 1.3}{299.97} = 0.00639m - \mathbf{6.39\ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Modulo de elasticidad del material

$E_o$  = Modulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{2.59}{0.00639}\right)}}$$

$$\mathbf{C= 0.5226\ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Peso específico del agua

$c$  = velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.5226 * 1.15 = \mathbf{600.25}$$

$$\Delta p = \mathbf{6\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = gravedad

$\rho = \text{Peso específico del agua}$

$$\Delta H = \frac{600.25}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.06$$

$$\Delta H = 6\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 150.44 * 1.06 = 159.93 \text{ m cda}$$

$$H = 1.56 \text{ MPA}$$

Recálculo de la variación de altura hasta conseguir una variación del 1%.

**Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P = \text{Presión interior a ser resistida}$

$\sigma = \text{Esfuerzo de trabajo del acero}$

$R = \text{Radio de la tubería}$

$$e = \frac{1.56 * 1.3}{299.97} = 0.00679 \text{ m} = 6.79 \text{ mm}$$

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho = \text{Peso específico del agua}$

$E = \text{Módulo de elasticidad del material}$

$E_o = \text{Módulo de elasticidad del fluido}$

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{2.59}{0.00679}\right)}}$$

$$C = 0.538 \text{ m/s}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = *Peso específico del agua*

$c$  = *velocidad de propagación de onda*

$\gamma$  = *coeficiente del suelo*

$$\Delta p = 998.72 * 0.538 * 1.15 = \mathbf{618.54}$$

$$\Delta p = \mathbf{6.18\%}$$

### **Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = *Variación de presión*

$g$  = *gravedad*

$\rho$  = *Peso específico del agua*

$$\Delta H = \frac{618.54}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.06$$

$$\Delta H = \mathbf{6\%}$$

### **Recálculo de H**

$$H = 150.44 * 1.06 = 159.937 \text{ mcd}$$

$$\mathbf{H = 1.56 \text{ MPA}}$$

### **ESPESOR DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN CON POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN LA CENTRAL TOPO**

e calculado = 6.79 mm

e por desgaste = 5mm

e por golpe de ariete = 3 mm

**Espesor de diseño = 14.79 mm**

### 3.2. Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Baba.

#### 3.2.1. Información general del proyecto

##### Ubicación

El proyecto multipropósito Baba se encuentra ubicado en el cantón Buena Fe a la altura del kilómetro 35 de la vía Santo Domingo – Quevedo, en la cuenca del río Baba y también cuenta con un caudal de aporte del río Chaume este proyecto multipropósito tiene una extensión territorial de 1100 hectáreas.

##### Coordenadas geográficas

**Latitud S:** 1° 46' 50.38''

**Longitud O:** 79° 40' 51.89''



**Ilustración 3.2.** Ubicación central hidroeléctrica Baba.

Fuente: Google Earth, 2018.

##### Generalidades del proyecto

El proyecto multipropósito Baba tiene como propósito controlar inundaciones y generar energía eléctrica para las comunidades aledañas. La central hidroeléctrica baba tiene una extensión de 1100 hectáreas. Este proyecto permitirá disipar las inundaciones durante la temporada de invierno en los cantones Buena Fe, Valencia y Quevedo que corresponde a 20 mil hectáreas de cultivos.

El caudal aprovechable en temporada de verano es de  $35m^3/s$  mientras que en temporada de invierno llega a alcanzar un caudal aprovechable de  $90m^3/s$ . La central hidroeléctrica cuenta con una potencia mínima de 9MW y máxima de 21.5 MW cuenta con una caída neta de 26,55m.

Las turbinas instaladas en la central hidroeléctrica Baba son tipo Kaplan de eje vertical con una generación de 21.5 MW (Cruz, 2013).

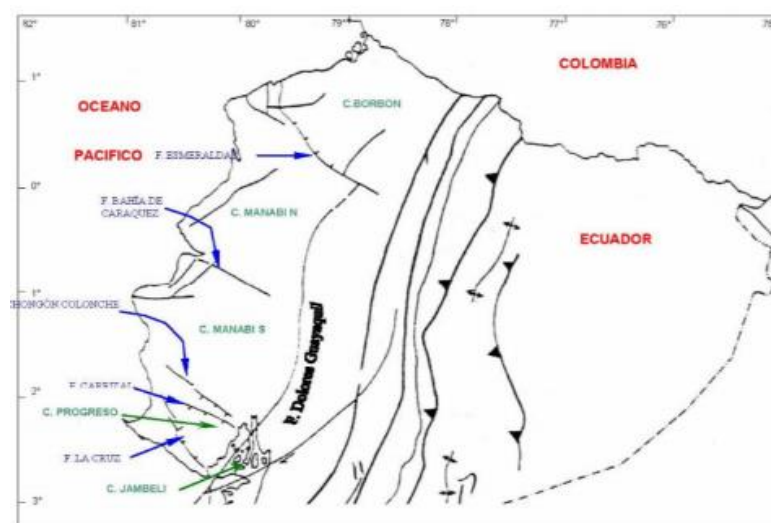
### Hidrología

La hidrología que corresponde a las zonas pertenecientes a las provincias de la costa como es Guayas y Santo Domingo, que es el sector donde se encuentra ubicada la Central Hidroeléctrica Baba es de tipo húmeda como muestran los indicadores de la estación pluviométrica del sector. “Para la precipitación media anual se puede ver que esta varía de los 500 hasta los 2,100 mm en la Ciudad de Quevedo. Se denota que la zona de Quevedo es muy húmeda. Del histograma de precipitaciones medias anuales de la Estación Pichilingue (M006) ubicada aproximadamente a 3 Km al sur de la Ciudad de Quevedo, se puede observar que el periodo lluvioso importante ocurre en los meses de diciembre a mayo, alcanzando un valor medio multianual de 2,100 mm” (CELEC-EP, 2016).

### Geología

La geología presente en el territorio donde se encuentra ubicada la central hidroeléctrica Baba se puede describir como la acumulación de conglomerados gruesos en la zona más profunda y arenisca en la parte superior del suelo.

“Durante el Cenozoico, a partir del Oligoceno Superior, en la región costanera del Ecuador se produce una sedimentación marina litoral. Los sedimentos se acumulan en cuencas subsidentes de ante arco limitadas por rasgos estructurales heredados de la evolución geodinámica Paleógena, cuyo fin marca el término de las acreciones de terrenos exógenos y hace que el aspecto del territorio ecuatoriano sea muy similar a su aspecto actual, salvo por la altura que es una adquisición neógena” (Marocco, 1991).



**Ilustración 3.3.** Cuencas de la costa ecuatoriana.

Fuente: <https://www.celec.gob.ec/transelectric/images>.



### 3.2.2. *Presentación de datos del diseño de la tubería de presión con acero.*

**Tabla 3.2.** Datos de la tubería de presión en la central multipropósito Baba.

<b>Tubería de presión</b>	
<b>MATERIAL</b>	Ducto de hormigón de sección rectangular y tubería de acero
<b>NÚMERO DE TUBERIAS DE PRESION</b>	1 ducto de hormigón que desemboca en tubería de acero al entrar en las turbinas
<b>ALTURA DE CAÍDA</b>	26,55 m
<b>ALTURA DE DISEÑO</b>	26,55 m
<b>DIAMETRO</b>	4,70 m
<b>ESPESOR</b>	10 -15 mm
<b>CAUDAL MAXIMO</b>	99 m3/s
<b>CAUDAL MINIMO</b>	35m3/s
<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>	90m3/s
<b>VELOCIDAD MEDIA</b>	3.6 m/s
<b>LONGITUD DE LA TUBERIA DE PRESIÓN</b>	12m el tramo comprendido de acero
<b>Anclajes</b>	
<b>TIPO DE ANCLAJES</b>	Anclajes de Hormigón
<b>CHIMENEA DE EQUILIBRIO</b>	
<b>TIPO DEL MATERIAL</b>	-
<b>ALTURA</b>	-
<b>DIAMETRO INTERNO</b>	-
<b>Casa de maquinas</b>	
<b>TIPO DE TURBINAS</b>	Turbina tipo Kaplan - eje vertical
<b>NUMERO DE TURBINAS</b>	2
<b>TIPO DE VALVULAS</b>	Check y mariposa
<b>NÚMERO DE VALVULAS</b>	2

Fuente: CELEC- EP Central multipropósitos Baba

## PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN USANDO ACERO

### Datos de diseño

$$Q=62.5 \text{ m}^3/\text{s de tubería}$$

$$H = 26.55 \text{ mcda}$$

$$\sigma_p=4220 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p=413.8132 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

### Peso específico del agua

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

### Módulo de elasticidad del fluido

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

### Módulo de elasticidad del material

$$E = 210000 \text{ Mpa} - 2141404.05 \text{ kg/cm}^2$$

### Velocidad

$$v = 3.6 \text{ m/s}$$

### Gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

### Área de la tubería.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{62.5}{3.6} = 17.36 \text{ m}^2$$

### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{17.36 * 4}{\pi}}$$

$$D= 4.7 \text{ m}$$

$$R = 2.4 \text{ m}$$

### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.260 * 2.4}{413.8132} = 0.00150 - \mathbf{1.50 \text{ mm}}$$

### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{4.7}{0.0015}\right)}}$$

$$\mathbf{C = 2.62 \text{ m/s}}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Peso específico del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 2.62 * 1.15 = \mathbf{3008.03}$$

$$\Delta p = \mathbf{30.08\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Peso específico del agua

$$\Delta H = \frac{3008.03}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.31$$

$$\Delta H = 31\%$$

### Recálculo de H

$$H = 26.55 * 1.31 = 34.70 \text{ m cda}$$

$$H = 0.34 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.34 * 2.4}{413.8132} = 0.00197 \text{ m} - \mathbf{1.97 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{4.7}{0.00197}\right)}}$$

$$C = 2.98 \text{ m/s}$$

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Peso específico del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 2.98 * 1.15 = 3421.84$$

$$\Delta p = 34.21\%$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Peso específico del agua

$$\Delta H = \frac{3421.84}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.35$$

$$\Delta H = 35\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 26.55 * 1.35 = 35.82 \text{ mcda}$$

$$H = 0.35 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.35 * 2.4}{413.8132} = 0.00204m - \mathbf{2.04\ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{4.7}{0.00204}\right)}}$$

**C= 3.02 m/s**

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 3.02 * 1.15 = \mathbf{3474.32}$$

$$\Delta p = \mathbf{34.74\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p =$  Variación de presión

$g =$  Gravedad

$\rho =$  Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{3474.32}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.35$$

$$\Delta H = 35\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 26.55 * 1.35 = 35.96 \text{ m cda}$$

$$H = 0.35 \text{ MPA}$$

**ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESIÓN CON ACERO EN LA CENTRAL BABA**

e calculado = 2.04 mm

e por desgaste= 5mm

e por golpe de ariete= 3 mm

$$\text{Espesor de diseño} = 10.04 \text{ mm}$$

*3.2.3. Diseño de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.*

*3.2.3.1. Parámetros y criterios de diseño.*

**Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P =$  Presión interior a ser resistida

$\sigma =$  Esfuerzo de trabajo del acero

$R =$  Radio de la tubería

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho =$  Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

#### **Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

#### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

#### **3.2.3.2. Sobrepresión por golpe de ariete.**

Se conoce como golpe de ariete a la sobrepresión generada, por el cierre inesperado de una válvula colocada en el extremo de la tubería de presión. Lo que ocasiona que las partículas de agua que se detuvieron inicialmente sean empujadas por las partículas de agua en movimiento que se encontraban a una mayor velocidad.

La sobrepresión que genera el golpe de ariete equivale a un aumento en la caída la cual se calcula con la siguiente formula:

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

El cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete se realizará hasta que este tenga una variación en porcentaje del 1%.

$$\Delta H = \frac{257.445}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.03$$

$$\Delta H = 3\%$$



### 3.2.3.3. Diseño de la tubería

#### Datos de la central

$$Q=62.5 \text{ m}^3/\text{s por tubería}$$

$$H = 26.55 \text{ m cda}$$

$$H = 026 \text{ MPA}$$

$$\sigma_p = 3059 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p = 299.96 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

#### Densidad del agua

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

#### Módulo de elasticidad del fluido

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

#### Módulo de elasticidad del material

$$E = 15000 \text{ Mpa} - 152957.43 \text{ kg/cm}^2$$

#### Velocidad

$$v = 3.8 \text{ m/s}$$

#### Gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

#### Área de la tubería.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{62.5}{3.8} = 16.45 \text{ m}^2$$

#### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{16.45 * 4}{\pi}}$$

$$D = 4.57 \text{ m}$$

$$R = 2.3 \text{ m}$$

### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = presión interior a ser resistida

$\sigma$  = esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = radio de la tubería

$$e = \frac{0.260 * 2.3}{299.97} = 0.00199\text{m} - \mathbf{1.99 \text{ mm}}$$

### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{4.6}{0.00199}\right)}}$$

$$\mathbf{C = 0.221 \text{ m/s}}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.221 * 1.15 = \mathbf{254.18}$$

$$\Delta p = \mathbf{2.54\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{254.18}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.03$$

$$\Delta H = 3\%$$

### Recálculo de H

$$H = 26.55 * 1.03 = 27.35 \text{ m cda}$$

$$H = 0.27 \text{ MPA}$$

Recálculo de la variación de altura hasta que esta cambie solo el 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.27 * 2.3}{299.97} = 0.00205 \text{ m} - 2.05 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Peso específico del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{4.6}{0.00205}\right)}}$$

$$C = 0.224 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.224 * 1.15 = 257.44$$

$$\Delta p = 2.57\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{257.44}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.03$$

$$\Delta H = 3\%$$

### Recálculo de H

$$H = 26.55 * 1.03 = 27.247 \text{ m cda}$$

$$H = 0.267 \text{ MPA}$$

### ESPESOR DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN CON POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN LA CENTRAL BABA

e calculado = 2.05 mm

e por desgaste = 5mm

e por golpe de ariete = 3 mm

**Espesor de diseño = 10.05 mm**

### 3.3. Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Cumbayá.

#### 3.3.1. Información general del proyecto

##### Ubicación

Las obras de la central se localizan en el Distrito metropolitano de Quito al este de la ciudad. La obra de toma se localiza junto a la casa de máquinas de la central hidroeléctrica Guangopolo, el reservorio de la central hidroeléctrica se encuentra en la parroquia de Cumbayá, la casa de máquinas está ubicada a 2.5 Km al noreste de la población de Cumbayá en una hondonada a pocos metros del río Machángara y 140 metros río abajo del reservorio se encuentra ubicada la casa de máquinas que se encarga de la operación de las turbinas de la central hidroeléctrica. Su acceso es a través de vías empedradas que cruzan terrenos que pertenecen a la EEQ S.A.

##### Coordenadas geográficas

S:  $00^{\circ} 11' 10.35''$

O:  $78^{\circ} 25' 9.68''$



**Ilustración 3.4.** Ubicación central hidroeléctrica Cumbayá.

Fuente: Google Earth, 2018.



**Ilustración 3.6.** Ubicación Central Hidroeléctrica Cumbayá.  
Fuente: Google Earth, 2018.

### **Generalidades del proyecto**

La ubicación con respecto al nivel del mar en cotas del proyecto es de 2832 msnm en el cual se encuentra ubicada la bocatoma de la obra de captación y 2240 msnm en donde se encuentra la descarga del río San Pedro, la central hidroeléctrica tiene un caudal de diseño de  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  con una caída neta de 140 m, con una potencia instalada de 40 MW tiene dos tramos de tubería de presión el primer tramo es de hormigón y su longitud es de 309,11 metros y el segundo tramo es de acero y su longitud es de 375.89 metros esta central está conectado al sistema nacional de distribución de energía eléctrica.

### **Hidrología**

La parroquia posee un clima subtropical que llega hasta  $32^\circ \text{C}$  en verano y las noches más frías de invierno baja hasta  $6^\circ \text{C}$  en base a los registros meteorológicos, la precipitación evidencia una distribución mayor para los meses de marzo, abril, octubre y noviembre, mientras que para los meses de julio y agosto se registran precipitaciones bajas, con un promedio anual de 71,7 m.

### **Geología**

Geológicamente la hoya de Quito es una zona donde hay existencia de formaciones cretácicas, se superponen los productos volcánicos además las acumulaciones de lava y materiales piroclásticos del volcanismo pleistoceno. Investigaciones sobre la geología del lugar que fueron practicadas en las andesitas de los alrededores de Quito arrojaron como resultado que se trata de efusiones de las primeras fases de erupción pleistocena, por ejemplo en las faldas orientales del Rucu Pichincha entre Mulan y Miraflores, además de las laderas del valle del río Machangara, quebrada Molinohuaico y taludes orientales de Guanguiltagua en forma de mantos y corrientes

lávicas intercaladas entre las formaciones pleistocenas más antiguas que la cangahua eólica del tercer interglaciario (Sauer, 1965).

### 3.3.2. *Análisis y presentación de datos del diseño de la tubería de presión con acero.*

**Tabla 3.3.** Datos de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Cumbayá.

<b>Tubería de presión</b>	
<b>MATERIAL</b>	Acero y Hormigón reforzado
<b>NÚMERO DE TUBERIAS DE PRESION</b>	2 tuberías de presión
<b>ALTURA DE CAÍDA</b>	138 m
<b>ALTURA DE DISEÑO</b>	140 m
<b>DIAMETRO</b>	2,44 m
<b>ESPESOR</b>	10-20 mm
<b>CAUDAL MAXIMO</b>	19.8.m3/s
<b>CAUDAL MINIMO</b>	16 m3/s
<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>	18 m3/s
<b>VELOCIDAD MEDIA</b>	1.92 m/s
<b>LONGITUD DE LA TUBERIA DE PRESIÓN</b>	690 m
<b>Anclajes</b>	
<b>TIPO DE ANCLAJES</b>	Anclajes de hormigón
<b>CHIMENEA DE EQUILIBRIO</b>	
<b>TIPO DEL MATERIAL</b>	Hormigón armado
<b>ALTURA</b>	30 m
<b>DIAMETRO INTERNO</b>	5m
<b>Casa de maquinas</b>	
<b>TIPO DE TURBINAS</b>	Turbinas Francis vertical
<b>NUMERO DE TURBINAS</b>	4
<b>TIPO DE VALVULAS</b>	Mariposa
<b>NÚMERO DE VALVULAS</b>	4

Fuente: Manual técnico Central hidroeléctrica Cumbaya.

## **PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN USANDO ACERO**

### **DATOS DE DISEÑO**

El caudal de diseño para las tuberías de presión es de 18 m<sup>3</sup>/s, pero esta central hidroeléctrica cuenta con dos tuberías de presión por lo que el caudal de diseño está dividido para dos, de esta manera se obtiene el caudal utilizado para el diseño en cada una de las tuberías.

$$Q=9 \text{ m}^3/\text{s por tubería}$$

$$H = 140 \text{ m cda}$$

$$\sigma_p = 4220 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p = 413.8132 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

#### **Densidad del agua**

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

#### **Módulo de elasticidad del fluido**

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Módulo de elasticidad del material**

$$E = 210000 \text{ Mpa} - 2141404.05 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Velocidad**

$$v = 1.92 \text{ m/s}$$

#### **Gravedad**

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

#### **Área de la tubería.**

Se empieza el cálculo del diseño de la tubería de presión, hallando el área de la tubería con la fórmula de  $Q=A*v$ , despejando esta fórmula se obtiene.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{9}{1.92} = 4.6875 \text{ m}^2$$



### Diámetro de la tubería

En el siguiente paso una vez obtenida el área de la tubería se procede a dimensionar el diámetro que esta tendrá.

$$A_{\text{circulo}} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.6875 * 4}{\pi}}$$

$$D = 2.44 \text{ m}$$

$$R = 1.2 \text{ m}$$

### Espesor de la tubería

Después de obtener la presión interior a la que estará expuesto el blindaje de la tubería, se calcula el espesor que resistirá la tubería de presión

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.37284 * 1.2}{413.8132} = 0.00398 \text{ m} - \mathbf{3.98 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.44}{0.00398}\right)}}$$

$$C = 5.54 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.54 * 1.15 = 6365.93$$

$$\Delta p = 63.65\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{6365.92}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.65$$

$$\Delta H = 65\%$$

### Recálculo de H

$$H = 140 * 1.65 = 230.97 \text{ m cda}$$

$$H = 2.26 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{2.26 * 1.2}{413.8132} = 0.006567m - \mathbf{6.56\ mm}$$

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.44}{0.006567}\right)}}$$

**C= 6.80 m/s**

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 6.80 * 1.15 = \mathbf{7814.07917}$$

$$\Delta p = \mathbf{78.14\%}$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{7814.079}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.80$$

$$\Delta H = 80\%$$

### Recálculo de H

$$H = 140 * 1.80 = 251.65 \text{ mca}$$

$$H = 2.467 \text{ MPA}$$

Recálculo de la variación de altura hasta que esta varíe en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{2.47 * 1.2}{413.8132} = 0.007156 \text{ m} = 7.156 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.44}{0.007156}\right)}}$$

$$C = 7.032 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 7.032 * 1.15 = 8077.353759$$

$$\Delta p = 80.77\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{8077.353759}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.82$$

$$\Delta H = 82\%$$

### Recálculo de H

$$H = 140 * 1.82 = 255.42 \text{ mcd}$$

$$H = 2.504 \text{ MPA}$$

Recálculo de la variación de altura hasta que esta cambie solo el 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{2.504 * 1.2}{413.8132} = 0.0072631m - \mathbf{7.2631\ mm}$$

#### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.44}{0.0072631}\right)}}$$

$$\mathbf{C= 7.072735\ m/s}$$

#### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 7.072735 * 1.15 = \mathbf{8123.234446}$$

$$\Delta p = \mathbf{81.23\%}$$

#### **Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{8123.234446}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.83$$

$$\Delta H = 83\%$$

### Recálculo de H

$$H = 140 * 1.83 = 256.07649 \text{ mca}$$

$$H = 2.5110 \text{ MPA}$$

Recálculo de la variación de altura hasta que varíe en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{2.511 * 1.2}{413.8132} = 0.007281 \text{ m} = 7.281 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.44}{0.007281}\right)}}$$

$$C = 7.07964 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 7.07964 * 1.15 = 8131.1708$$

$$\Delta p = 81.31\%$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p = \text{Variación de presión}$

$g = \text{Gravedad}$

$\rho = \text{Densidad del agua}$

$$\Delta H = \frac{8131.1708}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.83$$

$$\Delta H = 83\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 140 * 1.83 = 256.189 \text{ m cda}$$

$$H = 2.5122 \text{ MPA}$$

**ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESIÓN CON ACERO EN LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA CUMBAYÁ**

e calculado = 7.281 mm

e por desgaste = 5 mm

e por golpe de ariete = 3 mm

**Espesor de diseño = 15.28 mm**



### 3.3.3. *Diseño de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.*

#### 3.3.3.1. *Parámetros y criterios de diseño.*

Para realizar el diseño de la tubería de presión se desprecian las pérdidas hidráulicas que existirán en la misma ya que al tener un valor tan bajo no afecta en el cálculo.

#### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

#### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

#### **Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

#### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo.

### 3.3.3.2. Sobrepresión por golpe de ariete.

De acuerdo a la teoría presentada anteriormente la sobrepresión producida por el golpe de ariete en la central hidroeléctrica Cumbayá fue:

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{588.4644}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.06$$

$$\Delta H = 6\%$$

### 3.3.3.3. Diseño de la tubería

#### Datos de la central

$Q=9 \text{ m}^3/\text{s}$  por tubería

$H = 140 \text{ m cda}$

$H = 1.37284 \text{ MPA}$

$$\sigma_p = 3059 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$\sigma_p = 299.96 \text{ MPA}$

$$\gamma = 1.15$$

#### Densidad del agua

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

#### Módulo de elasticidad del fluido

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

#### Módulo de elasticidad del material

$$E = 15000 \text{ Mpa} - 152957.43 \text{ kg/cm}^2$$

#### Velocidad

$$v = 3.8 \text{ m/s}$$

#### Gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

### Área de la tubería

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{9}{3.8} = 2.3684 \text{ m}^2$$

### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{2.3684 * 4}{\pi}}$$

$$D = 1.74 \text{ m}$$

$$R = 0.9 \text{ m}$$

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.37284 * 0.9}{299.97} = 0.0041189 \text{ m} - \mathbf{4.1189 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{1.74}{0.0041189}\right)}}$$

$$C = 0.51236 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.51236 * 1.15 = 588.4644$$

$$\Delta p = 5.88\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{588.4644}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.06$$

$$\Delta H = 6\%$$

### Recálculo de H

$$H = 140 * 1.06 = 148.40 \text{ m cda}$$

$$H = 1.455 \text{ MPA}$$

Se repite el procedimiento hasta que la variación de altura cambie en 1%

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.455 * 0.9}{299.97} = 0.004366m - \mathbf{4.36\ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{1.74}{0.004366}\right)}}$$

$$\mathbf{C= 0.52725\ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.52725 * 1.15 = \mathbf{605.5614}$$

$$\Delta p = \mathbf{6.05\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{605.5614}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.06$$

$$\Delta H = 6\%$$

#### **Recálculo de H**

$$H = 140 * 1.06 = 148.65 \text{ mca}$$

$$H = 1.4579 \text{ MPA}$$

#### ***ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESION CON POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN LA CENTRAL CUMBAYA***

e calculado = 4.366 mm

e por desgaste= 5mm

e por golpe de ariete= 3 mm

**Espesor de diseño = 12.366 mm**

### 3.4. Comparación del diseño de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Guangopolo.

#### 3.4.1. Información general del proyecto

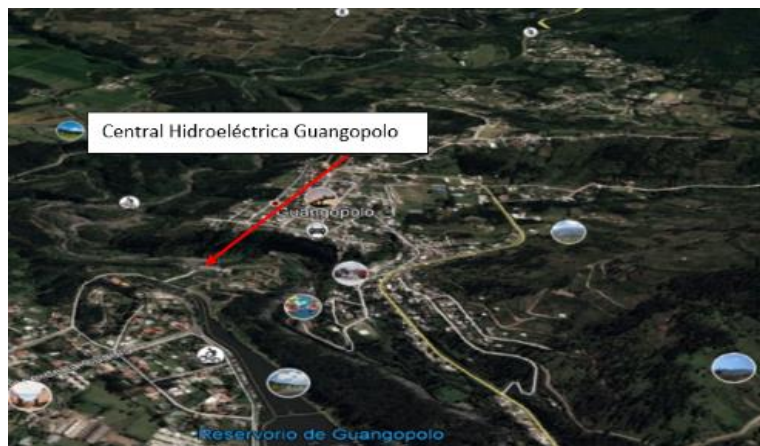
##### **Ubicación.**

La central hidroeléctrica Guangopolo se localiza a 10 Km al sureste de la ciudad de Quito. Las obras de toma en el río San Pedro se encuentran a unos 80 m aguas abajo del puente de la carretera antigua Quito – Conocoto – San Rafael; la casa de máquinas se localiza en la margen izquierda del río San Pedro frente a la población de Guangopolo. Las obras que constituyen la central son: las captaciones de los ríos San Pedro, Capelo, y Pita.

##### **Coordenadas Geográficas.**

**N:** 0°15'37.60''

**O:** 78°27'16.03''



**Ilustración 3.6.** Ubicación Central Guangopolo.

Fuente: Google Earth, 2018.

##### **Generalidades del proyecto.**

La ubicación con respecto al nivel del mar en cotas del proyecto es de 2453 msnm en el cual se encuentra ubicada la bocatoma de la obra de captación y 2382 msnm en donde se encuentra la descarga del río San Pedro, la central hidroeléctrica tiene un caudal de diseño de 18 m<sup>3</sup>/s con una caída neta de 70 m, con una potencia instalada para la unidad 6 de 11.52 MW y para las otras 5 turbinas las cuales son contraladas aún de manera manual la potencia instalada es de 9.40 MW.

##### **Hidrología.**

El río San Pedro del cual se obtiene el agua para la central hidroeléctrica Guangopolo, el clima es característico de la zona interandina ecuatorial húmeda las precipitaciones en esta zona se reparten en dos periodos el primero es en marzo y el segundo en noviembre y estas precipitaciones va desde 111 a 127 mm/mes y la estación seca es en los meses de julio y agosto.

3.4.2. *Presentación de datos del diseño de la tubería de presión con acero.*

**Tabla 3.4.** Datos de la tubería de presión central hidroeléctrica Guangopolo.

<b>Tubería de presión</b>	
<b>MATERIAL</b>	Acero
<b>NÚMERO DE TUBERIAS DE PRESION</b>	3 tuberías para la central antigua y 1 para la central nueva
<b>ALTURA DE CAÍDA</b>	65 m
<b>ALTURA DE DISEÑO</b>	70 m
<b>DIAMETRO</b>	2,88 antigua y 2,66 nueva
<b>ESPESOR</b>	10 - 20 mm
<b>CAUDAL MAXIMO</b>	19.8 m <sup>3</sup> /s
<b>CAUDAL MINIMO</b>	16 m <sup>3</sup> /s
<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>	18 m <sup>3</sup> /s
<b>VELOCIDAD MEDIA</b>	450 rpm las turbinas antiguas y 720 rpm la turbina nueva
<b>LONGITUD DE LA TUBERIA DE PRESIÓN</b>	177,30 antigua y 182 nueva
<b>Anclajes</b>	
<b>TIPO DE ANCLAJES</b>	Anclajes de hormigón
<b>CHIMENEA DE EQUILIBRIO</b>	
<b>TIPO DEL MATERIAL</b>	hormigón armado
<b>ALTURA</b>	-
<b>DIAMETRO INTERNO</b>	tipo rectangular
<b>Casa de maquinas</b>	
<b>TIPO DE TURBINAS</b>	Turbina Francis horizontal - Francis vertical
<b>NUMERO DE TURBINAS</b>	5 antigua y 1 moderna
<b>TIPO DE VALVULAS</b>	Chek y Mariposa
<b>NÚMERO DE VALVULAS</b>	6

Fuente: Manual Técnico central hidroeléctrica Guangopolo.



## PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO ANTIGUA CENTRAL GUANGOPOLO

$$Q=6 \text{ m}^3/\text{s por tubería}$$

$$H = 71 \text{ m cda}$$

$$H = 0.6962 \text{ m cda}$$

$$\sigma_p = 4220 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p = 413.8132 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

### Densidad del agua

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

### Módulo de elasticidad del fluido

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

### Módulo de elasticidad del material

$$E = 210000 \text{ Mpa} - 2141404.05 \text{ kg/cm}^2$$

### Velocidad

$$v = 1.64 \text{ m/s}$$

### Gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

### Área de la tubería.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{6}{1.64} = 3.6585 \text{ m}^2$$

### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{3.6585 * 4}{\pi}}$$

$$D = 2.16 \text{ m}$$

$$R = 1.1 \text{ m}$$

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.6962 * 1.1}{413.8132} = 0.00185 \text{ m} - \mathbf{1.85 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.16}{0.00185}\right)}}$$

$$\mathbf{C = 4.1675 \text{ m/s}}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 4.1675 * 1.15 = \mathbf{4786.5036}$$

$$\Delta p = \mathbf{47.86\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{4786.5036}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.49$$

$$\Delta H = 49\%$$

### Recálculo de H

$$H = 71 * 1.49 = 105.6867 \text{ m cda}$$

$$H = 1.03636 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.03636 * 1.1}{413.8132} = 0.002754 \text{ m} = 2.754 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.16}{0.002754}\right)}}$$

$$C = 4.9850 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 4.9850 * 1.15 = 5725.44$$

$$\Delta p = 57.25\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{5725.44}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.58$$

$$\Delta H = 58\%$$

### Recálculo de H

$$H = 71 * 1.58 = 112.49 \text{ m cda}$$

$$H = 1.10308 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.10308 * 1.1}{413.8132} = 0.002932m - \mathbf{2.932\ mm}$$

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.16}{0.002932}\right)}}$$

**C= 5.1235 m/s**

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.1235 * 1.15 = \mathbf{5884.53}$$

$$\Delta p = \mathbf{58.84\%}$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{5884.53}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.60$$

$$\Delta H = 60\%$$

### Recálculo de H

$$H = 71 * 1.60 = 113.64 mda$$

$$H = 1.114 MPA$$

Recálculo de la variación de altura hasta que esta cambie solo el 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.14 * 1.1}{413.8132} = 0.00296228m - 2.96 mm$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.16}{0.00296228}\right)}}$$

$$C = 5.1464 m/s$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.1464 * 1.15 = \mathbf{5910.82604}$$

$$\Delta p = \mathbf{59.10\%}$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{5910.82604}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.60$$

$$\Delta H = \mathbf{60\%}$$

**Recálculo de H**

$$H = 70 * 1.60 = 113.8345 \text{ mcd}$$

$$H = \mathbf{1.116 \text{ MPA}}$$

**ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESIÓN CON ACERO EN LA ANTIGUA CENTRAL GUANGOPOL**

e calculado = 2.96 mm

e por desgaste = 5mm

e por golpe de ariete = 3 mm

**Espesor de diseño = 10.96 mm**

## PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO NUEVA CENTRAL GUANGOPOLO

$$Q=18 \text{ m}^3/\text{s por tubería}$$

$$H = 71 \text{ m cda}$$

$$H = 0.6962 \text{ m cda}$$

$$\sigma_p = 4220 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p = 413.8132 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

### Densidad del agua

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

### Módulo de elasticidad del fluido

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

### Módulo de elasticidad del material

$$E = 210000 \text{ Mpa} - 2141404.05 \text{ kg/cm}^2$$

### Velocidad

$$v = 3.14 \text{ m/s}$$

### Gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

### Área de la tubería.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{18}{3.14} = 5.7324 \text{ m}^2$$

### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{5.7324 * 4}{\pi}}$$

$$D = 2.70 \text{ m}$$



$$R = 1.40 \text{ m}$$

### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.6962 * 1.40}{413.8132} = 0.00235545 \text{ m} - \mathbf{2.3554 \text{ mm}}$$

### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.70}{0.00235545}\right)}}$$

$$\mathbf{C = 4.199 \text{ m/s}}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 4.199 * 1.15 = \mathbf{4823.106175}$$

$$\Delta p = \mathbf{48.23\%}$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{4823.106}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.49$$

$$\Delta H = 49\%$$

### Recálculo de H

$$H = 71 * 1.49 = 105.952031 \text{ mcda}$$

$$H = 1.03636 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que varíe en 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.03636 * 1.40}{413.8132} = 0.003514m - \mathbf{3.514 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.70}{0.003514}\right)}}$$

$$C = 5.027 \text{ m/s}$$

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.027 * 1.15 = 5773.87$$

$$\Delta p = 57.73\%$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{5773.87}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.59$$

$$\Delta H = 59\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 71 * 1.59 = 112.84 \text{ m cda}$$

$$H = 1.107 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié solo por 1%.

**Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.107 * 1.40}{413.8132} = 0.003743m - \mathbf{3.743 \text{ mm}}$$

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.70}{0.003743}\right)}}$$

**C= 5.168 m/s**

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.168 * 1.15 = \mathbf{5935.50}$$

$$\Delta p = \mathbf{59.35\%}$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{5935.50}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.61$$

$$\Delta H = 61\%$$

### Recálculo de H

$$H = 71 * 1.61 = 114.03 \text{ m cda}$$

$$H = 1.118 \text{ MPA}$$

Se calcula la variación de altura hasta que esta varié solo por 1%.

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{1.118 * 1.40}{413.8132} = 0.003782 \text{ m} = 3.78 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{210000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{210000} * \frac{2.70}{0.003782}\right)}}$$

$$C = 5.191 \text{ m/s}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 5.191 * 1.15 = \mathbf{5962.29}$$

$$\Delta p = \mathbf{59.62\%}$$

### **Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{5962.29}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.61$$

$$\Delta H = \mathbf{61\%}$$

### **Recálculo de H**

$$H = 71 * 1.61 = 114.21 \text{ mcda}$$

$$H = \mathbf{1.119 \text{ MPA}}$$

### **ESPESOR DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN CON ACERO EN LA NUEVA CENTRAL GUANGOPOL**

e calculado = 3.78 mm

e por desgaste = 5mm

e por golpe de ariete = 3 mm

**Espesor de diseño = 11.78 mm**

### 3.4.3. *Diseño de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.*

#### 3.4.3.1. *Parámetros y criterios de diseño.*

##### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

##### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

##### **Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

##### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

3.4.3.2.Sobrepresión por golpe de ariete.

3.4.3.3.Diseño de la tubería

### **ANTIGUA CENTRAL GUANGOPOLO – TUBERÍA DE PRESIÓN DE POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO**

#### **Datos de la central**

$$Q=6 \text{ m}^3/\text{s por tubería}$$

$$H = 71 \text{ m cda}$$

$$H = 0.696226 \text{ MPA}$$

$$\sigma_p=3059 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p=299.96 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

#### **Densidad del agua**

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

#### **Módulo de elasticidad del fluido**

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Módulo de elasticidad del material**

$$E = 15000 \text{ Mpa} - 152957.43 \text{ kg/cm}^2$$

#### **Velocidad**

$$v = 3.8 \text{ m/s}$$

#### **Gravedad**

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

#### **Área de la tubería.**

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{6}{3.8} = 1.58 \text{ m}^2$$

#### **Diámetro de la tubería**

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$



$$D = \sqrt{\frac{1.58 * 4}{\pi}}$$

$$D = 1.42 \text{ m}$$

$$R = 0.7 \text{ m}$$

### **Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.696226 * 0.7}{299.97} = 0.001624 \text{ m} - \mathbf{1.624 \text{ mm}}$$

### **Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho (1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e})}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 (1 + \frac{2000}{15000} * \frac{1.42}{0.001624})}}$$

$$C = \mathbf{0.3577 \text{ m/s}}$$

### **Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.3577 * 1.15 = 410.87$$

$$\Delta p = 4.108\%$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{410.87}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.04$$

$$\Delta H = 4\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 70 * 1.04 = 73.98 \text{ m cda}$$

$$H = 0.73 \text{ MPA}$$

Se repite el procedimiento hasta que la variación de altura cambie solo en 1%

**Espesor de la tubería**

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.73 * 0.7}{299.97} = 0.001692 \text{ m} - 1.692 \text{ mm}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{1.42}{0.001692}\right)}}$$

$$C = 0.365 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.365 * 1.15 = 419.32$$

$$\Delta p = 4.193\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{419.32}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.04$$

$$\Delta H = 4\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 70 * 1.04 = 74.038 \text{ mcd}$$

$$H = 0.726 \text{ MPA}$$

**ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESIÓN CON POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN LA ANTIGUA CENTRAL GUANGOPOLO**

$$e_{\text{calculado}} = 1.69 \text{ mm}$$

$$e_{\text{por desgaste}} = 5 \text{ mm}$$

$$e_{\text{por golpe de ariete}} = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de diseño} = 9.69 \text{ mm}$$

**NUEVA CENTRAL GUANGOPOLO – TUBERÍA DE PRESIÓN DE POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO****Datos de la central**

$$Q = 18 \text{ m}^3/\text{s} \text{ por tubería}$$

$$H = 71 \text{ mcd}$$

$$H = 0.696226 \text{ MPA}$$

$$\sigma_p = 3059 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p = 299.96 \text{ MPA}$$

$$\gamma = 1.15$$

**Densidad del agua**

$$\rho = 998.72 \text{ Kg/m}^3$$

**Módulo de elasticidad del fluido**

$$E_o = 2000 \text{ Mpa} - 20394.32 \text{ kg/cm}^2$$

**Módulo de elasticidad del material**

$$E = 15000 \text{ Mpa} - 152957.43 \text{ kg/cm}^2$$

**Velocidad**

$$v = 3.8 \text{ m/s}$$

**Gravedad**

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

### Área de la tubería.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{18}{3.8} = 4.74 \text{ m}^2$$

### Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.74 * 4}{\pi}}$$

$$D = 2.46 \text{ m}$$

$$R = 1.23 \text{ m}$$

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.696226 * 1.23}{299.97} = 0.002785 \text{ m} - \mathbf{2.785 \text{ mm}}$$

### Velocidad de propagación de onda

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{2.46}{0.002785}\right)}}$$

$$C = 0.3559 \text{ m/s}$$

### Variación de presión

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.3559 * 1.15 = 408.777$$

$$\Delta p = 4.087\%$$

### Variación de altura

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad del agua

$$\Delta H = \frac{408.77}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.04$$

$$\Delta H = 4\%$$

### Recálculo de H

$$H = 70 * 1.04 = 73.96 \text{ m cda}$$

$$H = 0.725 \text{ MPA}$$

Se repite el procedimiento hasta que la variación de altura cambie solo en 1%

### Espesor de la tubería

$$e = \frac{P * R}{\sigma}$$

Donde:

$P$  = Presión interior a ser resistida

$\sigma$  = Esfuerzo de trabajo del acero

$R$  = Radio de la tubería

$$e = \frac{0.725 * 1.23}{299.97} = 0.002901m - \mathbf{2.90\ mm}$$

**Velocidad de propagación de onda**

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \left(1 + \frac{E_o}{E} * \frac{D}{e}\right)}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

$E$  = Módulo de elasticidad del material

$E_o$  = Módulo de elasticidad del fluido

$$c = \sqrt{\frac{15000}{998.72 \left(1 + \frac{2000}{15000} * \frac{2.46}{0.002901}\right)}}$$

**C= 0.3632 m/s**

**Variación de presión**

$$\Delta p = \rho * c * \gamma$$

$\rho$  = Densidad del agua

$c$  = Velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Coeficiente del suelo

$$\Delta p = 998.72 * 0.3632 * 1.15 = \mathbf{417.144}$$

$$\Delta p = \mathbf{4.17\%}$$

**Variación de altura**

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\Delta p$  = Variación de presión

$g$  = Gravedad

$\rho = \text{Densidad del agua}$

$$\Delta H = \frac{417.144}{998.72 * 9.81}$$

$$\Delta H = 0.04$$

$$\Delta H = 4\%$$

**Recálculo de H**

$$H = 70 * 1.04 = 74.02 \text{ m cda}$$

$$H = 0.725 \text{ MPA}$$

**ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESIÓN CON POLIÉSTER REFORZADO  
CON FIBRA DE VIDRIO EN LA NUEVA CENTRAL GUANGOPOLO**

e calculado = 2.90 mm

e por desgaste= 5mm

e por golpe de ariete= 3 mm

**Espesor de diseño = 10.90 mm**



## CAPÍTULO IV.

### TÉCNICA CONSTRUCTIVA Y MANTENIMIENTO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.

#### 4.1. Proceso constructivo de la tubería de presión con acero.

##### 4.1.1. Manual de instalación de tuberías de presión con acero enterradas.

El proceso de instalación de la tubería de presión en centrales hidroeléctricas depende del tipo de instalación de la misma, la cual puede ser aérea o subterránea, para lo que existen diferentes técnicas de construcción que se deben tomar en cuenta de acuerdo al tipo de suelo presente en la zona o el tipo de anclaje que va a requerir la tubería de presión, tomando en consideración los parámetros de la normativa AWWA de instalación de tuberías de acero que se debe cumplir (DIPRA, 2016).

##### 4.1.1.1. Transporte, Manipulación y almacenaje.

La tubería de acero generalmente es transportada por vía terrestre por camiones, por lo que es necesario que la tubería tenga protección mecánica, esto las hace más resistentes para que soporten esfuerzos y rozamientos, así como desperfectos que se producen durante su transporte.

Para el procedimiento de carga y descarga de la tubería de acero se deben tomar en cuenta las precauciones necesarias para evitar el contacto directo con las superficies de los tubos, lo cual puede ocasionar hundimientos en las mismas, se usan materiales como nylon y lonas para evitar que al momento de la carga o descarga esta pierda sus propiedades anti corrosivas.

Es responsabilidad del constructor, es revisar que las tuberías no pierdan las propiedades mencionadas durante procesos de carga y descarga del material, siendo supervisado por la fiscalización (DIPRA, 2016).



**Ilustración 4.7.** Transporte de tuberías de acero.

Fuente: <http://www.vikargas.com.br/rede-para-transportes-de-tubos.php>

Para realizar una eficiente descarga de la tubería es necesario seguir los pasos de seguridad que se citan a continuación.

1. Para descargar la tubería es necesario que el camión donde estos se están transportando se encuentre en posición horizontal, sobre un terreno nivelado aprobado por la fiscalización.
2. Previo a la liberación de las cadenas que sostiene a la tubería, es necesario cerciorarse que los anclajes estén en posición correcta y que al ser retiradas las cadenas, la tubería no ruede fuera de control.
3. Es recomendable que el personal que este manipulando la carga de tuberías no se encuentre sobre, frente o al lado de la carga de tubos una vez que se retiraron los anclajes para evitar accidentes.
4. Para la liberación de las cadenas, cuerdas o sogas que sostengan la carga se recomienda no hacerlo con elemento que puedan dañar la tubería o sus revestimientos como son hacha o cincel.
5. Para la descarga de la tubería no se permite utilizar elementos amortiguadores sobre los cuales la tubería pueda rebotar y causar accidentes con el personal que se encuentre cerca, esta operación se la realiza con un montacargas.
6. El personal que no esté involucrado en la operación de la descarga de la tubería deberá permanecer fuera del área de trabajo, así como aquellos que se encuentren realizando esta operación deberán usar los equipos de seguridad adecuados.
7. En caso de realizar la descarga de los tubos sin montacargas se utiliza un gancho acolchado o en su defecto tenazas para tubos, de esta manera se eleva la tubería con ayuda de una grúa tomando en cuenta que los mismos no se golpeen (DIPRA, 2016).



**Ilustración 4.2.** Descarga de tubería de acero.

Fuente: Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\_Spanish%20(4).pdf



**Ilustración 4.3.** Descarga de la tubería de acero con grúa.  
Fuente: Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\_Spanish%20(4).pdf

Para el almacenaje por un tiempo prologando se recomienda que la tubería sea almacenada con tuberías de los mismos diámetros, se usan maderos para evitar colocar las tuberías en el suelo y mantenerlas alejadas de la suciedad y escombros. Los tubos que se apilaran sobre la base deberán alternar el extremo acampanado con el extremo liso se deberá colocar maderos entre las hileras para evitar que el recubrimiento de la tubería se vea afectada.

La altura de almacenamiento de los tubos será de acuerdo a la tabla que se muestra a continuación dada por los fabricantes.

**Tabla 4.1.** Alturas máximas sugeridas para el apilamiento.

Tamaño de tubo (pulgadas)	Número de hileras	Tamaño del tubo (pulgadas)	Número de hileras
3	18*	20	6
4	16*	24	5
6	13*	30	4
8	11*	36	4
10	10*	42	3
12	9*	48	3
14	8*	54	3
16	7	60	3
18	6	64	3

Fuente: Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\_Spanishpercentage20(4).pdf

#### 4.1.1.2. Zanjado.

La tubería es enterrada para evitar cargas adicionales que puedan dañarla, así como golpes y cargas concentradas en un solo punto de la misma. Una de las principales ventajas de enterrar las tuberías es que está sometida a presiones exteriores uniformemente distribuidas por lo que se recomienda espesores mínimos de relleno a partir de la cara externa del tubo, se recomienda que esta altura sea de 900 mm si el diámetro es igual o menor a esta altura, de lo contrario la altura variará de 1 a 1.5m, tomando en cuenta que las cargas no afecten la estructura de la tubería (Comisión nacional del agua, 2012).

El zanjado debe tener un ancho establecido para facilidad de la colocación de la tubería de acuerdo a la fórmula que se muestra a continuación.

$$B = \frac{4}{3} de + 400$$

Donde:

B= Es el ancho de la zanja.

de= Diámetro nominal del tubo(mm).

Para la colocación de tuberías en el zanjado el exceso de excavación debe ser retirado en caso de ser material grueso, el material suelto que se coloca en la zanja debe ser acomodado en toda la longitud de la tubería, para que ésta no se vea afectada por la presencia de partículas gruesas, en el fondo se coloca una cama de arena de 80 a 150 mm.

En caso de que la excavación se haya realizado en material rocoso es importante tener una capa de 150 mm la cual estará dividida en 100 mm de plantilla de grava y 50mm de material suelto.

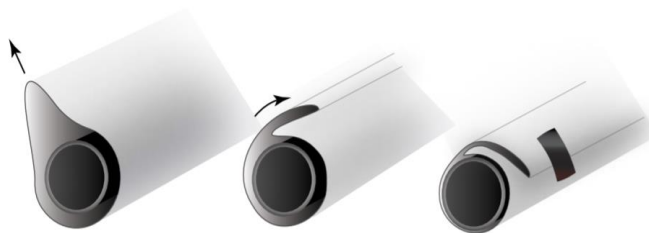
Para el relleno después de la colocación de las tuberías y los accesorios correspondientes, se realizará con material seleccionado que esté libre de material rocoso para evitar daños en la tubería, el relleno se realizará por compactación con capas no mayores a 150 mm.

#### 4.1.1.3. Colocación y montaje.

La tubería se colocará en los extremos de la zanja para realizar una eficiente colocación. Existen dos tipos de colocación en la zanja que puede ser manual o con maquinaria, siendo la segunda opción la forma más eficiente de realizar esta operación.

Una vez que la tubería se encuentra dentro de la zanja se realiza el montaje de la misma de acuerdo a los pasos que se enumeran a continuación:

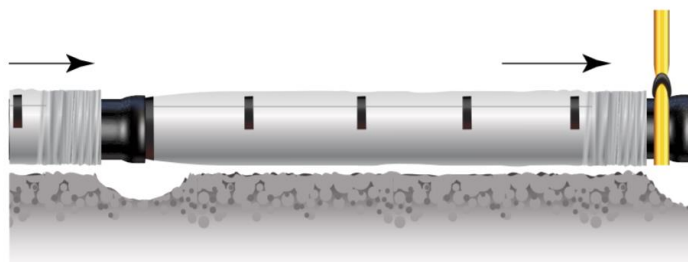
1. Se requiere de una sección de manga del polietileno, para eliminar los trozos de arcilla, barro y material que se haya pegado a la tubería durante su almacenamiento. Con la manga de polietileno se encamisa la tubería en el extremo de la espiga para tener mejores resultados en el montaje.



**Ilustración 4.4.** Encamisado de la tubería de acero.

Fuente: Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\_Spanish%20(4).pdf

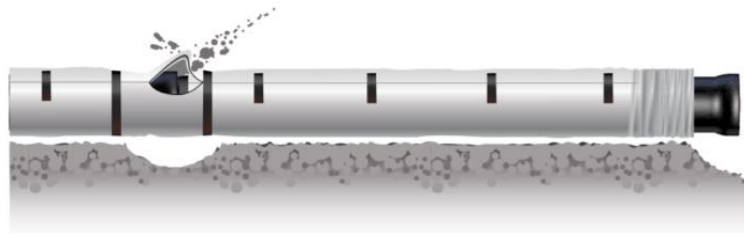
2. Se elimina la holgura de la manga en el tubo para que este quede ajustado sin necesidad de estar apretado, el polietileno sobrante se lo pega con cinta adhesiva en la parte superior de la tubería lo que ayuda a que esta no tenga flacidez.
3. Se cava un hoyo poco profundo para la campana en el fondo de la zanja, en la ubicación de la junta esto facilita la instalación de la manga, se baja el tubo a la zanja y se lo conecta con el tubo anterior (DIPRA, 2016).



**Ilustración 4.5.** Colocación de la tubería en la zanja.

Fuente: Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\_Spanish%20(4).pdf

4. Mover el cable al extremo de la campana de tubo y eleve el tubo para proporcionar espacio libre para deslizar la manga sobre el barril restante del tubo, en este paso se asegurara que no entre suciedad en el lecho de la envoltura y el tubo.
5. Se debe asegurar el acoplamiento del polietileno con la tubería anterior, cerciorándose de que tenga un acoplamiento considerable entre las dos mangas.
6. Se coloca una cinta adhesiva sobre la junta de acoplamiento para que esta quede fija y así unir las dos tuberías.



**Ilustración 4.6.** Polietileno colocado en la tubería.

Fuente: Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\_Spanish%20(4).pdf

7. Reparar el polietileno en caso de tener rasgaduras y rellena con precaución tomando en cuenta que el relleno debe estar libre de material grueso que dañe la tubería como rocas, piedras, clavos.
8. Para realizar la soldadura de unión de las tuberías que pueden ser revestidas interior o exteriormente, se debe dejar libre una longitud corta de 40 mm en cada extremo, para que de esta manera el calor no afecte el recubrimiento del resto de la tubería (Comisión nacional del agua, 2012).

#### 4.1.2. Manual de instalación de tuberías de presión con acero aérea.

##### 1. Carga y descarga.

Para el proceso de carga y descarga de la tubería de acero es necesario maquinaria especializada, para que el procedimiento sea de menor riesgo.

De esta manera también se evita el contacto de la superficie de la tubería con las partes metálicas del equipo, también es necesario emplear platinas para evitar daños en el recubrimiento anticorrosivo.

Mientras se da el proceso de colocación, la tubería es dejada sobre camas de arena o grandes troncos de madera con la finalidad de que no se afecte el recubrimiento anticorrosivo.

##### 2. Limpieza de las tuberías.

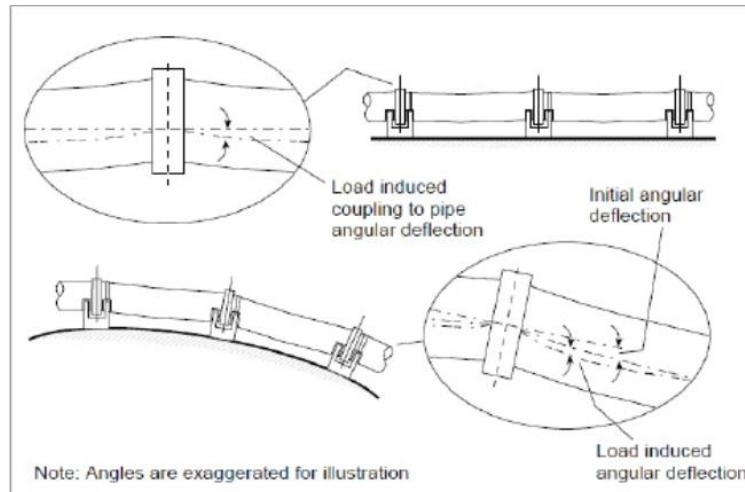
Para que la tubería de acero tenga mayor durabilidad y resistencia es necesario colocar recubrimiento anticorrosivo, este recubrimiento es colocado en superficies que estén totalmente libres de impurezas.

Se retira la humedad del tubo por lo que es necesario que este sea calentado uniformemente a una temperatura de 110°C. Una vez que se retiró la humedad de la tubería se continúa con la limpieza de residuos de grasa, lubricantes, aceite con ayuda de un chorro de arena. El metal base para ser colocado debe tener una coloración grisácea mate (Comisión nacional del Agua, 2007).

##### 3. Instalación de la tubería aérea.



La tubería deberá estar alineada en la superficie para ser colocada de manera ordenada en los anclajes que se construyeron anteriormente, para la colocación de la tubería es necesario tener un grado de curvatura que no sobrepase el grado de fluencia del material para que no exista desgaste del recubrimiento anticorrosivo.



**Ilustración 4.7.** Ángulos de deflexión en tuberías

Fuente: <https://www.scribd.com>

#### 4. Soldadura de la tubería.

Cuando se realiza la soldadura en una tubería que tiene recubrimiento, una parte de la tubería de 40 mm en cada uno de los extremos no debe tener revestimiento, para que el calor de la soldadura no afecte a la sección de la tubería que fue revestida, dañando el recubrimiento protector. Después de soldar la tubería a los anclajes, es necesario pintar las secciones que se dejaron sin recubrimiento (Comisión nacional del Agua, 2007).

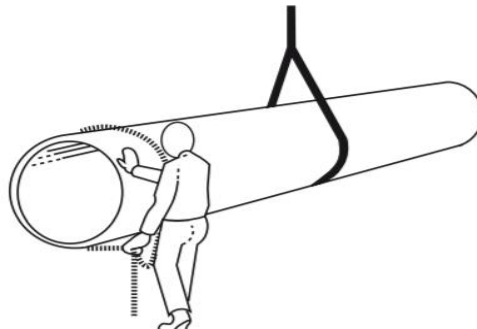
#### 4.2. Proceso constructivo de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El procedimiento para realizar la construcción y la instalación de la tubería de presión toma en cuenta cual va a ser el tipo de instalación (instalación aérea o instalación enterrada) que se va a realizar, de esta manera se define el tipo de cimentación que va a necesitar la tubería de presión. En caso de ser enterrada se toma en cuentas las propiedades del material y del suelo, la condición más importante para una correcta instalación de la tubería de presión es la experiencia tanto de la mano de obra como del constructor.

##### 4.2.1. Instalación y método constructivo para tubería de presión enterrada.

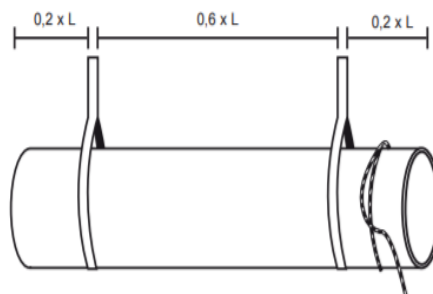
###### 4.2.1.1. Transporte, manipulación y almacenaje.

En el caso del transporte y la manipulación para la tubería de presión se debe tener cuidado con no provocar golpes en la tubería si esto sucede y el daño es menor se puede realizar la reparación en obra caso contrario estas reparaciones deben ser realizadas por un técnico especializado en tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio, cuando se quiere almacenar o apilar las tuberías se debe usar una material flexible, no se puede usar acero, se tiene dos formas de mover la tubería con uno o dos puntos de fijación.



**Ilustración 4.8.** Transporte de la tubería con un punto de fijación

Fuente: <http://amitechspain.es/documentos/downloads/manual-de-instalacion-tuberias-enterradas-amitech.pdf>



**Ilustración 4.9.** Transporte de tuberías con dos puntos de fijación.

Fuente: <http://amitechspain.es/documentos/downloads/manual-de-instalacion-tuberias-enterradas-amitech.pdf>



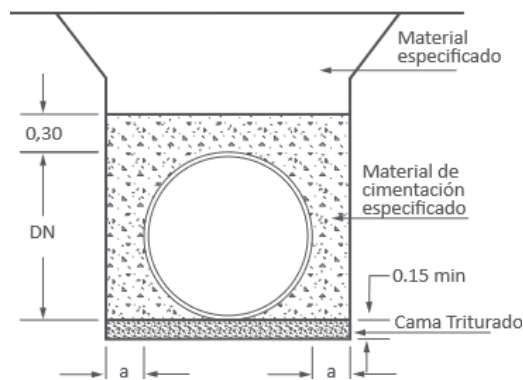
#### 4.2.2. Cimentación.

Para la cimentación en la instalación de tubería de presión enterrada se debe tomar en cuenta el tipo de suelo del sitio y si este debe ser cambiado para que resista el peso del agua y de la tubería o si el suelo en sitio resiste y no provocara deformaciones en la tubería con el paso del tiempo, también se toma en cuenta la compactación que el suelo va a necesitar en el caso que este sirva para utilizarlo y no hacer reemplazo del suelo para la instalación de la tubería.

Para la compactación se debe tomar en cuenta el contenido de humedad cuando se tiene material fino, al estar la tubería de presión sometida a grandes velocidades evitar la socavación porque esto puede ocasionar que la tubería llegue a tener grandes deformaciones y hasta fisuras.

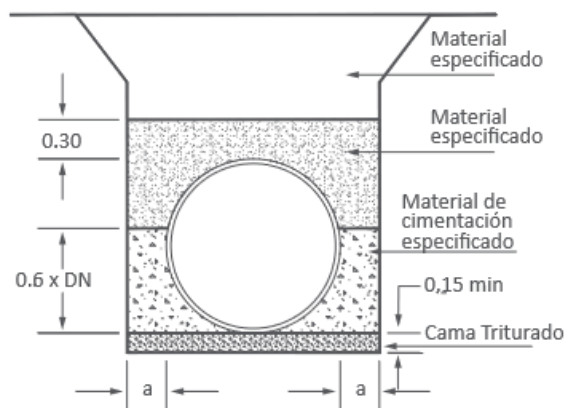
#### 4.2.3. Excavación de la zanja.

Se tiene dos tipos de instalaciones para la zanja, para el caso del primer tipo de instalación se tiene dimensiones estándar que se deben cumplir las cuales se pueden ver en la siguiente figura



**Ilustración 4.10.** Excavación de la zanja  
Fuente: Manual de técnico acueducto PAVCO.

Para la segunda forma de instalación cuando se puede tener un relleno que no sea tan fuerte porque se tiene poco tráfico que va a pasar sobre la tubería de presión se debe aplicar las dimensiones estándar para este tipo de instalación y también se debe tener en cuenta las recomendaciones por el tipo de material y que este debe estar compactado de forma correcta.

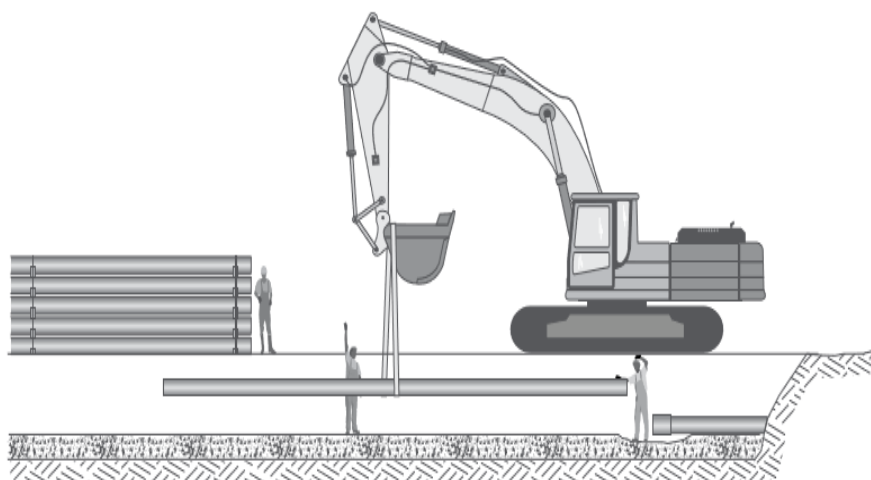


**Ilustración 4.11.** Material de relleno en zanja.  
Fuente: Manual de técnico acueducto PAVCO.

Para cualquiera de los tipos de instalaciones se debe tomar en consideración para la construcción que la zanja si sobrepasa los 5 metros debe ser entibada igualmente si es de suelo de muy fácil desprendimiento deben tener en cuenta las dimensiones de la zanja para que una persona pueda trabajar de forma correcta y con seguridad, también se debe controlar el paso del agua antes de realizar la zanja y se debe analizar el agua superficial como el agua subterránea y que esto no produzca ningún efecto en realizar la zanja de forma correcta.

#### 4.2.4. Montaje.

Para el montaje de la tubería de presión en la zanja se lo puede realizar de dos formas el uno con mano de obra o el otro también se lo puede realizar con maquinaria este es mejor que el otro porque el manejo del tiempo se lo realiza de forma más eficiente que a mano.



**Ilustración 4.12.** Montaje con Maquinaria.  
Fuente: Manual de técnico acueducto PAVCO.

#### 4.2.5. Empate en la unión de la tubería de presión.

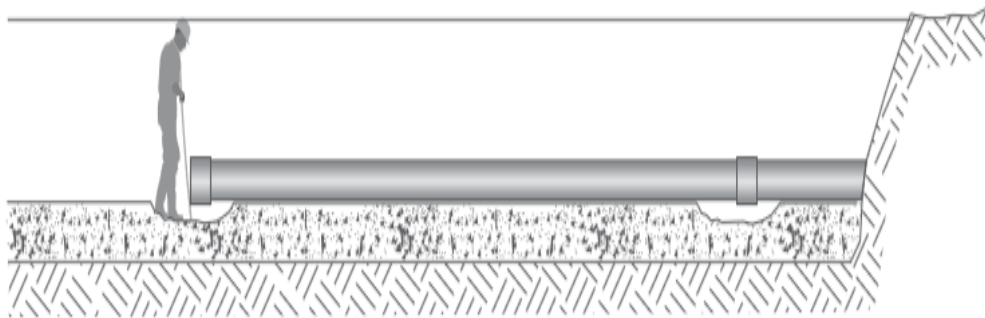
Para realizar los empates en las uniones en la tubería de presión se lo debe hacer cuando ya esté compactado el material donde va a ser colocada la tubería de presión y también cuando ya esté realizada la zanja, después de esto se debe poner a la tubería un aceite o un material que haga que la tubería se acople con mayor facilidad este también puede ser vaselina, jabón, un material que sirva para el correcto acople de la tubería de presión, para instalar otro tramo de la tubería de presión se debe hacerlo cuando el tramo inicial este acoplado de forma correcta y esté asentado sobre una cama de arena y una vez que se hayan instalado las dos partes de la tubería de presión se debe verificar que los sellos se hayan instalado de forma correcta, el procedimiento para comprobarlo es deslizar una lámina delgada con punta redondeada y de esta forma poder comprobar si el sello no se movió o quedo remordido.

##### 4.2.5.1. Métodos de inserción

Hay tres tipos de métodos de inserción: de forma manual, de forma manual pero con ayuda de poleas para mover la tubería o con maquinaria.

##### 4.2.5.1.1. Manual

Esta se la puede realizar con diámetros menores a 500mm para esto se debe tomar en cuenta la utilización de bloques de madera y también un apoyo que obligue el acople correcto de la tubería.



**Ilustración 4.13.** Método de inserción manual.

Fuente: Manual de técnico acueducto PAVCO.

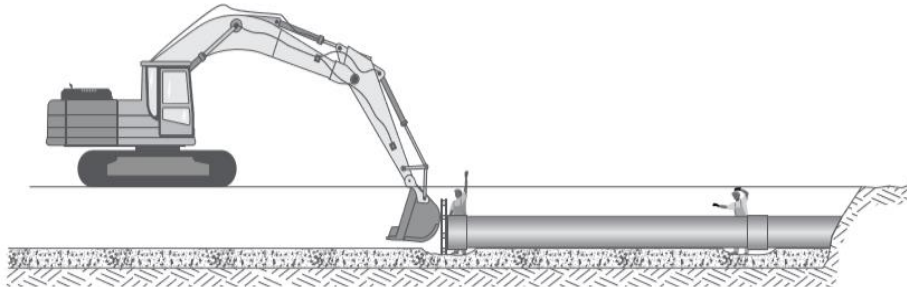
##### 4.2.5.1.2. Manual y poleas.

Esta forma se la puede realizar tanto con diámetros pequeños como con diámetros grandes lo que se utiliza aquí son eslingas o abrazaderas estas son colocadas a cada lado para mediante las poleas halarlas y que se acoplen de forma correcta en el tope central de la tubería.

##### 4.2.5.1.3. Con maquinaria.

Esta es una forma de empatar mucho más eficiente en tiempo pero también se debe tener un especial cuidado con la tubería de presión para esto se debe colocar una tapón de madera el cual proteja el extremo de la tubería, está determinadamente prohibido

hacer movimientos bruscos con la retroexcavadora porque este puede provocar una instalación mal hecha o que no cumpla el procedimiento correcto.



**Ilustración 4.14.** Acople con maquinaria.

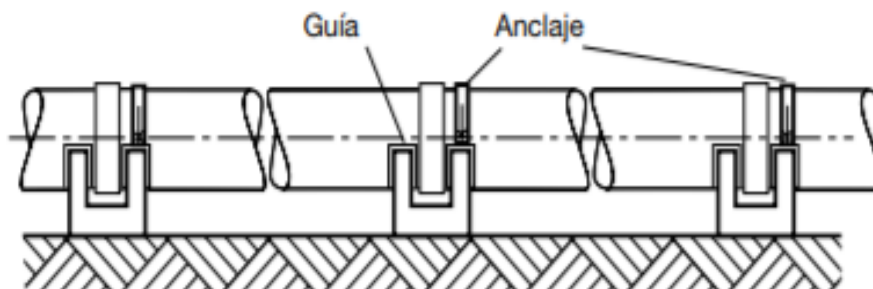
Fuente: Manual de técnico acueducto PAVCO.

**4.2.2. Instalación y método constructivo para tubería de presión aérea.**

La instalación de la tubería de presión de forma aérea en el caso de transporte, manipulación y almacenaje se lo realiza de la misma forma que la instalación enterrada y este procedimiento (numeral 4.2.1.1.) indica el proceso de instalación de la tubería enterrada.

**4.2.2.1. Instalación tubería aérea.**

Para la instalación aérea se debe tener mucho cuidado de que la tubería quede alineada de forma correcta y que los elementos estructurales den soporte a las mismas como que los apoyos estén hechos de una forma segura para así evitar inestabilidad de la tubería. La forma de asegurar esto es por lo menos que la tubería este apoyada sobre dos soportes a uno de estos debe ir anclada la tubería y los otros actúan como guía y de esta forma se evita la dilatación ya que al estar la tubería a la intemperie se crea cambios de temperatura, estas tuberías están asentadas en más de dos apoyos una de las recomendaciones es que el que está más cerca al centro del tubo sea el apoyo que este anclado, los apoyos pueden ir distanciados hasta una longitud máxima de 12 metros para que cumplan su función de forma correcta la cual es de restringir el movimiento la dilatación longitudinal y los movimientos laterales, también se debe tener cuidado con la inclinación entre cada apoyo esta no puede superar del 0,1% de la longitud del tramo de tubería (FLOWTITE, 2006).



**Ilustración 4.15.** Esquema de distribución de los soportes de una tubería.  
Fuente: Guía de instalación de tubeías aéreas FLOWTITE.

#### 4.2.2.2. Soporte de la tubería de presión.

Para evitar que la tubería de presión tenga demasiada carga o presión se debe poner soportes los cuales son normalmente de hormigón o de acero estos deben tener un ángulo de apoyo del  $150^\circ$  y el diámetro debe ser mayor al 0,5% del diámetro exterior del tubo se presenta la siguiente tabla donde se especifica el ancho mínimo y el diámetro de la tubería, se debe evitar el contacto directo del soporte con la tubería para eso se debe poner un revestimiento de 5mm que resista a la fricción.

**Tabla 4.2.** Ancho mínimo de soporte de la tubería de presión.

Ancho mínimo de soporte	Diámetro de la tubería
150 mm	$D < 1000$ mm
200 mm	$1100 < D < 2000$ mm
250 mm	$D < 2000$ mm

Fuente: <http://flowtite.amiantitgroup.com/>

#### 4.3. Mantenimiento de la tubería de presión con acero.

Para realizar el mantenimiento de la tubería de presión con acero es necesario realizar previamente inspecciones visuales, pruebas para medir los espesores de la tubería en los puntos más críticos de la misma, también es necesario una inspección del recubrimiento que fue colocado en la tubería.

##### 4.3.1. Inspección Visual.

La inspección visual consiste en realizar un informe reportando las anomalías que se encontraron presentes en la tubería de presión, como el desprendimiento de la pintura anticorrosiva, también se reporta los daños en los anclajes y posibles abolladuras en la tubería.

#### 4.3.2. Medición de espesores en la tubería de presión.

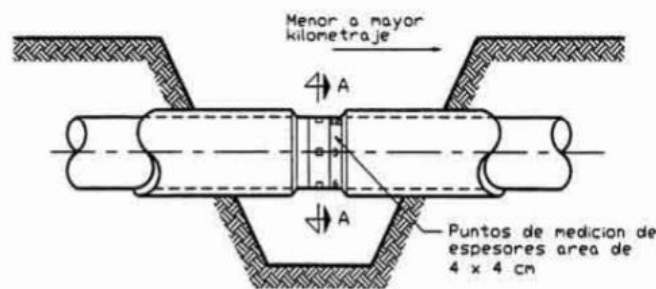
La medición de espesores de la tubería de presión se la hace como un método preventivo, para saber en qué zona de la tubería se está dando mayor desgaste, para este procedimiento se utiliza técnicas de ultra sonido, este procedimiento se aplica para tuberías superficiales y tuberías enterradas.

Según la Comisión nacional del agua (2007) los puntos donde se medirán con mayor énfasis la tubería de presión son los siguientes:

- Codos susceptibles a sufrir esfuerzos altos.
- Puntos de cambio de dirección.
- Zonas de baja resistividad del suelo.
- Áreas con daños mecánicos.
- Zonas reparadas anteriormente.

Para realizar la medición de los espesores con aparatos de ultrasonido se necesita calibrar los equipos con anterioridad, así como también lubricar los equipos.

Para la medición de los espesores la maquinaria de ultrasonido se colocará perpendicularmente en la superficie metálica durante 3, 6, 9 y 12 horas. Si las lecturas arrojadas del medidor de ultra sonido son muy variables es necesario revisar que los componentes de la máquina de ultra sonido como el acoplante y transductor este bien colocado en la superficie de la tubería de presión.



**Ilustración 4.16.** Medición de espesores

Fuente: <ftp://ftp.conagua.gob.mx>

Para la reparación del desgaste del espesor de la tubería de presión es necesario colocar una capa de recubrimiento de calidad igual al que se aplicó originalmente en la tubería, con un traslape mínimo de 150 mm (Comisión nacional del agua, 2007).

#### 4.3.3. Inspección y mantenimiento de pintura y recubrimiento anticorrosivo.

La inspección de la tubería de presión para colocar el recubrimiento anticorrosivo se lo hace tanto para tuberías aéreas como para tuberías enterradas.

### **Tuberías enterradas.**

Según la Comisión nacional del agua (2007) se reconoce el sector donde estaría ubicada la tubería de presión.

1. Se colocan dos celdas de reconocimiento de la tubería con posible desgaste del recubrimiento anticorrosivo.
2. Con el equipo necesario para esta actividad, interruptor PCS-2000 y receptor PCS-2000 se mide el voltaje de entrada en el suelo.
3. Seleccionar la escala de voltaje.
4. Se medirá el potencial de daño del recubrimiento anticorrosivo.
5. Si se encuentra una zona de daño se hace un mapeo de todas las zonas donde se encontró desgaste del recubrimiento anticorrosivo.
6. Se realizan las excavaciones respectivas para hacer las reparaciones correspondientes del recubrimiento.
7. El recubrimiento empleado para el mantenimiento tiene que ser de las mismas características físicas y de calidad del recubrimiento que estuvo colocado anteriormente.

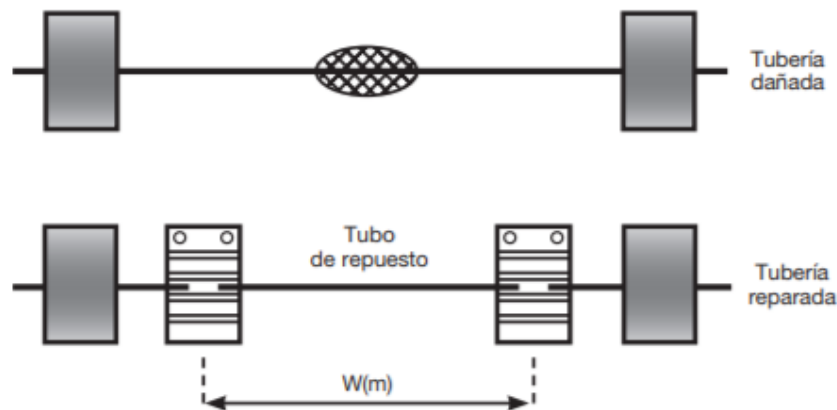
### **Tuberías aéreas.**

Según la Comisión nacional del agua (2007) se sigue los pasos que se describen a continuación para el mantenimiento del recubrimiento anticorrosivo.

1. Para el mantenimiento del recubrimiento anticorrosivo es necesario inicialmente encontrar los puntos donde el recubrimiento se desprendió.
2. Selección del diámetro del electrodo, que es el mismo diámetro exterior de la tubería de presión.
3. Limpieza de la tubería con el fin de eliminar cualquier tipo de impureza que en esta se encuentre.
4. Elección del voltaje de prueba de acuerdo con el tipo de recubrimiento anticorrosivo.
5. Recubrimiento de las zonas afectadas con material anticorrosivo.

#### 4.4. Mantenimiento de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Tanto para tuberías enterradas como tuberías aéreas cuando se tiene que cambiar o reparar el tramo del tubo que tiene manguitos externos y también cuando son tramos rectos con puntas laminadas se sigue el siguiente procedimiento el cual se lo representa de forma esquemática en el siguiente gráfico.



**Ilustración 4.17.** Esquema Tubería PRFV dañada.

Fuente: Guía de mantenimiento tubería Flowtite.

Los valores para W (longitud del tubo de reparación) en metros están medidos con respecto al diámetro de la tubería en milímetros y se lo representa en la siguiente tabla.

**Tabla 1.3.** Longitud de tubería de reparación.

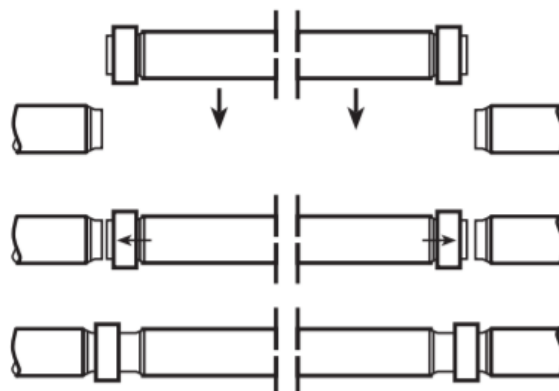
ID(mm)	W(m)
80-600	1(40")
700-1200	1.5(60")
Por encima de 1200	3(120")

Fuente: Guía de mantenimiento tubería Flowtite.

Cuando se tiene una fuga se debe aplicar la longitud W al menos 0,5 a cada lado de donde este la fisura cuando son manguitos externos después se tiene que cortar un tramo de la tubería con longitud W y también tomar en cuenta que las áreas en las que no se va a realizar el mantenimiento no tengan ninguna afectación si no que los demás tramos de la tubería estén en perfecto estado, para realizar esta unión se puede hacerlo con manguitos mecánicos los cuales van acoplar las piezas de forma correcta, para el tubo de cierre de la tubería se debe realizar con 10 o 20 milímetros menor que donde va a ser empatado para esto se puede usar el manguito mecánico para que hale el tubo de cierre, se debe utilizar bastante lubricante para así evitar cualquier afectación que



pueda tener el tubo en el caso de ingresar y que sus extremos queden totalmente lisos sin imperfecciones, el paso final es colocar de forma correcta el tubo de cierre con los extremos del tramo de la tubería y halarlo con manguito hasta que tenga un correcto acople en este caso se debe tener especial cuidado en cada uno de los procedimientos que se sigue y verificar que la tubería quede sin ninguna imperfección al final para eso se puede utilizar cualquier tipo de aceite que sirva para lubricar y posibilite más fácil el acople entre las tres partes del tubo, en el siguiente grafico se presenta un esquema del tubo de cierre y su procedimiento el cual se explicó anteriormente.



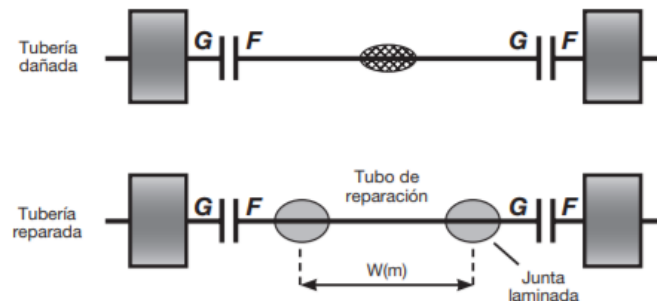
**Ilustración 4.18.** Procedimiento acople tubo de cierre.  
Fuente: Guía de mantenimiento tubería Flowtite.

### **Procedimiento para acople de tubo de cierre**

Mantenimiento cuando se tiene que realizar un corte por fuga cuando la tubería de presión tiene bridas:

Primero se debe localizar la fuga se debe quitar todos los tornillos y todos los elementos que le mantienen unida como tornillos, juntas, etc. Se debe comprobar que esté alineada correctamente, también se debe comprobar que la junta no haya sufrido ninguna afectación y este en perfecto estado y después se tiene que volver a unir el tramo de la tubería de presión, si las juntas tienen algún imperfecto a lo que son revisadas se las debe cambiar por unas nuevas, en el caso de los anillos interiores también se debe revisar que no estén dañados ni que tengan ningún tipo de golpe si tienen algún daño se los debe cambiar inmediatamente. Para el mantenimiento con bridas cuando se utiliza bridas planas deben estar personal calificado porque si se sigue un procedimiento incorrecto esto puede provocar que el esfuerzo de la brida plana sea afectado considerablemente y ya no se pueda realizar esta conexión si no que toque comprar de nuevo bridas y eso solo se lo puede realizar si este procedimiento no provoco un daño en la tubería de presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio después de que ya se realizó todo el procedimiento para parar la fuga esta debe parar en aproximadamente unos 10 minutos si esto no sucede se debe cambiar la junta por

una nueva. En el siguiente grafico se muestra como se realiza el cambio de juntas en bridas de forma gráfica con una unión laminada.



**Ilustración 4.19.** Reparación de brida con unión laminada.

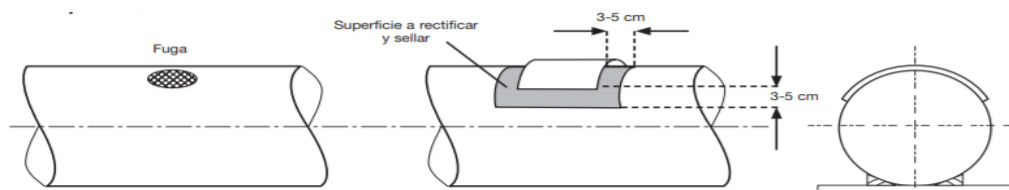
Fuente: Guía de mantenimiento tubería Flowtite.

### Reparaciones de emergencia

Estas reparaciones se las realiza cuando no se pueden hacer reparaciones permanentes aunque esto depende mucho de la evaluación del daño que si se puede hacer o no de forma permanente por eso se las realiza por un tiempo hasta que pueda ser cambiado el elemento completamente, los tipos de reparaciones que se realizan son:

1. Reparacion de emergencia por medio de laminación
2. Reparacion de emergencia por medio de la cementacion de un tramo de tubo
3. Reparacion de emergencia por medio de abrazaderas mecánicas

Para la primera reparacion se debe aislar el tubo del agua y de todo en el lugar donde se va a realizar la reparacion si esto no se puede hacer se vaciará completamente el tubo y tambien se debe despresurizar, despues se usará una máquina que rectifique la tuberia de presión para asi poder trabajar de forma correcta, se secará todo el lugar de trabajo, el procedimiento para sellar la fuga en la tubería es hacer una mezcla de resina/endurecedor, esto se lo debe ir aplicando en capas tambien con una capa de fibra de vidrio, se debe tomar en cuenta que no se puede poner otra capa de fibra de vidrio hasta que la anterior este ya con resina, esto se debe dejar endurecer un tiempo y despues ya se puede volver a presurizar el tubo, en la parte de abajo se indica el procedimiento descrito de forma grafica.

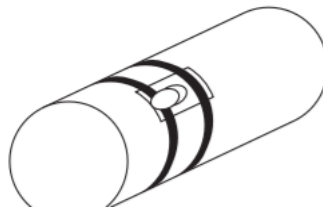


**Ilustración 4.20.** Reparación por sustitución.

Fuente: Guía de mantenimiento tubería Flowtite.

Para la segunda reparación de emergencia primero debemos igual que en la anterior reparación, despresurizar el tubo, secar el area donde se va a realizar el parche y también pulir el area después de realizar estos dos pasos se tiene que aplicar un adhesivo esto se lo hace poniendo la cara interior del adhesivo con la superficie marcada del tubo se debe realizar una presión y se lo sujetará hasta que el adhesivo esté completamente seco, al finalizar este proceso se mete la mano y se quita todo fragmento que haya quedado del adhesivo, algo muy importante a considerar es que se debe evitar la cargas mientras el adhesivo se esta endureciendo.

**Procedimiento de reparación de emergencia con cementación de un tramo de tubo.**



**Ilustración 4.21.** Cementación de un tramo de tubo.

Fuente: Guía de mantenimiento tubería Flowtite.

Para la tercera reparación de emergencia por medio de abrazaderas mecánicas esta solución es una de las más usadas porque su costo es muy bajo y se la puede realizar rapidamente, el procedimiento consiste en poner una junta con las abrazaderas mecánicas y unir así el desperfecto de la tubería esto resulta muy conveniente cuando el sistema de tubería es 100% de fibra de vidrio (FLOWTITE, 2006).

## CAPÍTULO V.

### COSTO DE INVERSIÓN DE LA TUBERÍA DE POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y DE LA TUBERÍA DE ACERO.

#### 5.1. Costos de importación – INCOTERMS

Debido a las características de la tubería de presión que se emplean en las centrales hidroeléctricas, y al no contar con fabricantes propios en el país es necesario realizar importaciones tanto para la tubería de presión con acero como para la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio, para lo que es necesario conocer el protocolo que se ejecuta para realizar las importaciones.

El costo total de importación abarca lo siguiente:

- Precio del producto de origen.
- Costos de transporte y seguro.
- Aranceles e impuestos aduaneros.
- Los costos en destino (e-comex.com, 2017).

##### 5.1.1. Definición de INCOTERMS.

Se define como INCOTERMS a los términos comerciales que existe entre el comprador y el vendedor sobre cuál de las dos partes debe asegurar la mercadería que se está importando.

Estos términos definen cuáles serán las responsabilidades tanto del comprador como del vendedor, de esta manera se aclara los costos de las transacciones comerciales.

##### 5.1.2. Costos de importación de tubería de presión de acero.

###### 5.1.2.1. Clasificación arancelaria tubos de acero.

La clasificación arancelaria se define como el proceso por el cual se otorga una numeración a un producto que se va a importar o exportar, para que el mismo sea conocido a nivel mundial. Este código es creado por la organización mundial de las aduanas.

#### Partida arancelaria tubos de acero.

##### Información de la subpartida 7304.29.00.00 Ad val: 5.00 %

**Sección y título:** METALES COMUNES Y MANUFACTURAS DE ESTOS METALES  
**Capítulo y título:** 73 Manufacturas de fundición, hierro o acero  
**Descripción de Partida:** - LOS DEMÁS. (5% PARA TUBOS SIN ROSCAR CON EXTREMOS LISOS, CON Y SIN RECÁLQUE)  
**Descripción de subpartida:** Los demás  
**Código Suplementario TNAN:** 0003

TRIBUTOS ADUANEROS	
Tributos	Valor
AD VALOREM	5.00
ARANCEL ESPECIFICO	0.00
ANTIDUMPING	0.00
FONDO INNFA	0.50
ICE AD VALOREM	0.00
ICE ESPECIFICO	0.00
IVA	12.00
SALVAGUARDIA	0.00
SALVAGUARDIA ESPECIFICA	0.00
IMPUESTO REDIMIBLE A LAS BOTELLAS PLÁSTICAS NO RETORNABLES	0.00
INCREMENTO ICE	0.00
TASA DE CONTROL	0.00

#### Ilustración 5.1. Partida arancelaria tubos de acero

Fuente: e-comex.com

A continuación se muestra en el cuadro de los principales países exportadores de tubería de acero a nivel mundial.

**Tabla 5.1.** Principales países exportadores de tubos de acero.

Exportadores	Valor exportado en 2017 (miles de	Saldo comercial 2017 (miles	Cantidad exportada	Unidad de cantidad	Valor unitario (USD/unid	Tasa de crecimiento anual en valor entre	Tasa de crecimiento anual en	Tasa de crecimiento anual en valor
Mundo	21679296	-1630036	0	No medida		-15	-7	14
China	4439626	3531364	4100027	Toneladas	1083	-13	-6	12
Japón	2196197	2099962	869774	Toneladas	2525	-17	-12	8
Alemania	2099180	1294756	1115960	Toneladas	1881	-12	-3	12
Estados Unidos de América	1138705	-2347031	303505	Toneladas	3752	-20	-18	9
Italia	1001730	281303	543381	Toneladas	1844	-14	-3	-1
México	1001052	740830	1232814	Toneladas	812	-11	11	12
Francia	738528	139022	248996	Toneladas	2966	-20	-19	-13
España	702667	398779	278335	Toneladas	2525	-10	1	13
Austria	661465	460711	435538	Toneladas	1519	-15	-6	53
Países Bajos	655628	-43458	223519	Toneladas	2933	-1	7	13
Rusia, Federación de	522611	-129203	567395	Toneladas	921	-13	-2	47
Rumania	515708	369758	428834	Toneladas	1203	-10	-4	26
República Checa	502510	278250	298980	Toneladas	1681	-11	-4	18
Corea, República de	490203	-245754	227775	Toneladas	2152	-5	-4	36
Argentina	458719	366812	440197	Toneladas	1042	-24	-11	114
Ucrania	448092	387270	417080	Toneladas	1074	-17	-10	
Brasil	442173	332354	330956	Toneladas	1336	-14	-2	38
Reino Unido	307210	-290568	64757	Toneladas	4744	-17	-16	-16
Suecia	294042	181145	43308	Toneladas	6790	-13	-2	-9
Singapur	293263	-27233	149716	Toneladas	1959	-30	-15	2
Bélgica	284298	87867	139115	Toneladas	2044	-11	0	10
Indonesia	234925	-212202	137931	Toneladas	1703	-25	-21	24
Eslovaquia	215658	97626	186440	Toneladas	1157	-6	2	19
India	197891	-181220	86369	Toneladas	2291	-23	-23	-18
Canadá	181283	-789616	100816	Toneladas	1798	-28	-27	114

Fuente: [www.trademap.org](http://www.trademap.org)

**Tabla 5.2.** Tabla de importación de tuberías de acero en Ecuador

Código	Descripción del producto	Seleccione sus indicadores						
		Valor importado en 2017 (miles de USD)	Tasa de crecimiento anual en valor entre 2013-2017 (% p.a.)	Tasa de crecimiento anual en cantidad entre 2013-2017 (% p.a.)	Tasa de crecimiento anual del mundo exportaciones entre 2013-2017 (% p.a.)	Participación en el mundo importaciones (%)	Posición en el mundo importaciones	Arancel medio (estimado) aplicado por Ecuador
TOTAL	Todos los productos	19844933	-11		-3	0,1	75	10
7304	Tubos y perfiles huecos, sin soldadura, de hierro o acero (exc. de fundición)	89612	-35		-15	0,4	52	0,3

Fuente: [www.trademap.org](http://www.trademap.org)

El costo de importación de la tubería de acero en Ecuador durante el año 2017 fue de \$ 89 612 000 de dólares americanos, ocupando de esta manera la posición 52 a nivel mundial en cuanto a importaciones de este material.

Los principales países a los que Ecuador importa se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 5.3.** Principales países a los que Ecuador importa tuberías de acero.

Exportadores	Seleccione sus indicadores										
	Valor importado en 2017 (miles de USD)	Participación de las importaciones para Ecuador (%)	Cantidad importada en 2017	Unidad de medida	Valor unitario (USD/unidad)	Tasa de crecimiento de los valores importados entre 2013-2017 (% p.a.)	Tasa de crecimiento de las cantidades importadas entre 2013-2017 (% p.a.)	Posición relativa del país socio en las exportaciones mundiales	Participación de los países socios en las exportaciones mundiales (%)	Tasa de crecimiento de las exportaciones totales del país socio entre 2013-2017 (% p.a.)	Arancel medio (estimado) aplicado por Ecuador
Mundo	89612	100	0	No medida		-35			100	-15	
China	32102	35,8	34451	Toneladas	932	-28	-18	1	20,5	-13	0,4
México	20616	23	15823	Toneladas	1303	-35	-25	6	4,6	-11	0,4
Rumania	10302	11,5	4675	Toneladas	2204	-38	-30	12	2,4	-10	0,2
Colombia	7724	8,6	4392	Toneladas	1759	14	26	42	0,1	8	0
Argentina	7222	8,1	5247	Toneladas	1376	-50	-44	15	2,1	-24	0,4
Estados Unidos de América	4284	4,8	759	Toneladas	5644	-39	-39	4	5,3	-20	0,4
Canadá	2047	2,3	324	Toneladas	6318	48	65	25	0,8	-28	0,4
Angola	1472	1,6	574	Toneladas	2564			57	0,03	28	0,4
España	898	1	716	Toneladas	1254	41	99	8	3,2	-10	0,2
Italia	864	1	428	Toneladas	2019	-37	-28	5	4,6	-14	0,2
Japón	368	0,4	67	Toneladas	5493	28	73	2	10,1	-17	0,4
Reino Unido	265	0,3	127	Toneladas	2087	0	43	18	1,4	-17	0,2
Alemania	263	0,3	12	Toneladas	21917	-29	-53	3	9,7	-12	0,2
Brasil	261	0,3	87	Toneladas	3000	-46	-52	17	2	-14	0,3
India	165	0,2	26	Toneladas	6346	-54	-44	24	0,9	-23	0,4
Perú	117	0,1	37	Toneladas	3162	-8	7	63	0,02	6	0
Finlandia	92	0,1	1	Toneladas	92000	-25	-25	55	0,04	-4	0,2
Chile	87	0,1	21	Toneladas	4143	87	114	50	0,06	-16	0
Corea, República de	86	0,1	3	Toneladas	28667	-57	-71	14	2,3	-5	0,4
Francia	82	0,1	49	Toneladas	1673	-47	-42	7	3,4	-20	0,2
Suiza	69	0,1	1	Toneladas	69000	-4	-78	40	0,1	-14	0,4
Bélgica	47	0,1	22	Toneladas	2136	-10		21	1,3	-11	0,2

Fuente: [www.trademap.org](http://www.trademap.org)

De acuerdo a la tabla que se muestra anteriormente se observa que el principal país al que Ecuador importa tuberías de acero es China con un porcentaje de 35.08% lo que equivale a un costo de \$32 102 000 dólares. En el año 2017 se importó de China 34451 toneladas de tubería de acero con un costo de 932 dólares por unidad (metro lineal).

El costo de la tubería de acero de alta presión para centrales hidroeléctricas, con los costos totales de importación son de \$ 4 751.27 dólares americanos por tonelada, como referencia se tomó el costo en los proyectos emblemáticos Coca Codo Sinclair, Toachi Pilaton, Quijos Victoria.

5.1.3. Costos de importación de tubería de presión de PRFV.

5.1.3.1. Clasificación arancelaria de tubería de PRFV.

TUBO FIBRA DE VIDRIO

< volver

Subpartida: [7019.90.90.00](#) > Ad\_Valorem:0.00%

Capítulo 70: Vidrio y sus manufacturas

Descripción arancelaria: Las demás

TNAN: [0000](#) | LOS DEMAS

TRIBUTOS ADUANEROS	
Tributos	Valor
AD VALOREM	0.00
ARANCEL ESPECIFICO	0.00
ANTIDUMPING	0.00
FONDO INNFA	0.50
ICE AD VALOREM	0.00
ICE ESPECIFICO	0.00
IVA	12.00
SALVAGUARDIA	0.00
SALVAGUARDIA ESPECIFICA	0.00
IMPUESTO REDIMIBLE A LAS BOTELLAS PLÁSTICAS NO RETORNABLES	0.00
INCREMENTO ICE	0.00
TASA DE CONTROL	0.00

Ilustración 5.2. Partida arancelaria tubería de PRFV.

Fuente: e-comex.com

A continuación se muestra los principales países exportadores de tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

**Tabla 5.4.** Países a los que importa Ecuador PRFV.

Importadores	Seleccione sus indicadores								
	Valor importado en 2017 (miles de USD)	Saldo comercial 2017 (miles de USD)	Cantidad importada en 2017	Unidad de cantidad	Valor unitario (USD/unidad)	Tasa de crecimiento anual en valor entre 2013-2017 (%)	Tasa de crecimiento anual en cantidad entre 2013-2017 (%)	Tasa de crecimiento anual en valor entre 2016-2017 (%)	Participación en las importaciones mundiales (%)
Mundo	2767170	-67166	0	No medida		3	2	11	100
China	329003	197738	24043	Toneladas	13684	-1	-1	3	11,9
Estados Unidos de América	274020	72773	0	No medida		7		-10	9,9
México	245510	-143076	51105	Toneladas	4804	11	17	10	8,9
Reino Unido	223735	-40622	22124	Toneladas	10113	32	10	164	8,1
Alemania	158306	46662	31799	Toneladas	4978	2	4	17	5,7
Francia	156658	-91532	71208	Toneladas	2200	-1	1	20	5,7
Dinamarca	146734	12265	19108	Toneladas	7679	24	13	32	5,3
Corea, República de	84707	-47852	12931	Toneladas	6551	6	13	-7	3,1
Japón	78054	-43216	13774	Toneladas	5667	2	9	1	2,8
Canadá	71331	-24447	0	No medida		1		10	2,6
Viet Nam	53080	-40660	11366	Toneladas	4670	13	16	16	1,9
Polonia	49019	-39341	17945	Toneladas	2732	8	31	9	1,8
España	49002	49715	11383	Toneladas	4305	12	7	6	1,8
Suecia	43265	19306	6126	Toneladas	7063	0	4	17	1,6
Italia	41100	2877	8638	Toneladas	4758	2	9	13	1,5
Emiratos Árabes Unidos	40042	-20873	0	No medida		17	42	70	1,4
India	36168	-20358	8853	Toneladas	4085	5	11	-23	1,3
Singapur	32011	-18402	0	No medida		-7		-24	1,2
Turquía	27666	-14881	7381	Toneladas	3748	11	13	0	1
Austria	27656	-14145	4988	Toneladas	5545	6	12	6	1
Arabia Saudita	26834	37654	12505	Toneladas	2146	-30	-25	-32	1
Australia	26463	-23095	0	No medida		-2		34	1
Kuwait	25010	1168	9205	Toneladas	2717	0	-5	124	0,9
Tailandia	22862	-12251	4095	Toneladas	5583	2	2	-8	0,8
Noruega	22516	-14737	7696	Toneladas	2926	-3	6	13	0,8
Brasil	22336	-20671	4400	Toneladas	5076	-13	-2	-11	0,8

Fuente: Trademap.org

De acuerdo a la tabla que se presenta anteriormente el principal país al que Ecuador importa material de fibra de vidrio incluyendo tubería de presión es China con un porcentaje de 11.9% lo que equivale a \$329 003 000 dólares americanos. En el año 2017 se importa de China 24 043 toneladas PRFV con un costo de \$13 684 dólares americanos por tonelada.

El costo total de importación de tubería de PRFV utilizada en centrales hidroeléctricas es de 3 401.40 dólares por tonelada (Amitech, 2008).



## 5.2.Determinación de precios unitarios de la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El análisis de precios unitarios (APU) es un modelo matemático, que estima el costo por unidad de una partida, tomando en cuenta, los costos de los materiales, el equipo y la mano de obra que se requiere para ejecutar una unidad del presupuesto total (Delgado, 2017).

El análisis de precios unitarios se realizó con la información de la Cámara de la industria de la construcción y para el material la información de costos fue tomada de la empresa Otek, los costos indirectos de los APU mostrados a continuación son del 22.5% del costo directo, de acuerdo a la Cámara de la industria de la construcción.

Los valores del análisis de precios son referenciales y se tomó las mismas condiciones climáticas, de terreno, altitud y dificultad en acceder por lo tanto se repiten algunos rubros.

**Tabla 5.5.** APU rubro: Limpieza del terreno.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION G.R.P					
RUBRO :	1.1				
DETALLE:	Limpieza del terreno			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,045981
Volqueta 12 m3	2	35	70	0,004	0,28
SUBTOTAL M					0,325981
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	2	3,51	7,02	0,131	0,91962
SUBTOTAL N					0,91962
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
SUBTOTAL O				0	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				1,25	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% C.DIRECTO)				0,28	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,53	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.6.** APU rubro: replanteo y nivelación con equipo topográfico.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN G.R.P					
RUBRO :	1.2				
DETALLE:	Replanteo y nivelación con equipo topografico			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,101925
Equipo topográfico	1	3,75	3,75	0,08	0,3
SUBTOTAL M					0,4
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. C1 / Maestro de obra	1	3,93	3,93	0,01	0,0393
Estruct. Ocup. D2 /Cadenero	2	3,51	7,02	0,24	1,6848
Estruct. Ocup. C1/Topografo	1	3,93	3,93	0,08	0,3144
SUBTOTAL N					2,0385
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Tiras 2,5x2,5x2,5	UNIDAD	0,2	0,38	0,08	
SUBTOTAL O				0,076	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)			2,52	
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)			0,57	
	COSTO TOTAL DEL RUBRO			3,08	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.7.** APU rubro: Montaje de la tubería de presión.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERÍA DE PRESIÓN EN G.R.P					
<b>RUBRO :</b>	1.3				
<b>DETALLE:</b>	Montaje de la tubería de presión			UNIDAD:	m
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,0051125
Retroexcavadora	1	25	25	0,02	0,5
Amoladora/ cortadora	1	1,42	1,42	0,02	0,0284
<b>SUBTOTAL M</b>					0,53
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,14	9,42	0,005	0,0471
Estruct. Ocup. D2 / Albañil	2	3,55	7,1	0,005	0,0355
Estruct. Ocup. D2/ Ayudante de maquinaria	1	3,55	3,55	0,005	0,01775
Estruct. Ocup. C1/ Operador de retroexcavadora	1	3,93	3,93	0,005	0,01965
<b>SUBTOTAL N</b>					0,10
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0</b>	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)			0,64	
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)			0,14	
	COSTO TOTAL DEL RUBRO			0,78	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.8.** APU rubro: Suministro de la tubería de presión.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN GRP						
RUBRO :	1.4					
DETALLE:	Suministro de la tubería de presión			UNIDAD:	M	
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
SUBTOTAL M					0,00	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
SUBTOTAL N					0,00	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Tubería de GRP	Kg	1	18,5	18,5		
SUBTOTAL O				18,5		
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PESO/ VOL	CANTIDAD	DISTANCIA	TARIFA	COSTO
Tubería de GRP	ton-km	0,001	0,184	121	0,15808	0,003519493
SUBTOTAL P						0,00351949
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+ P)					18,50
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)					4,16
	COSTO TOTAL DEL RUBRO					22,67

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.9. APU rubro: Junta para tubería de GRP**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN GRP						
RUBRO :	1.5					
DETALLE:	Juntas de tubería GRP			UNIDAD:	U	
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Herramienta menor (5% M.O)	1	0,013414	0,013414	1	0,013414	
SUBTOTAL M					0,013	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Estruct. Ocup. E2 /Ayudante de plomero	1	3,51	3,51	0,038	0,13338	
Estruct. Ocup. D2 / Plomero	1	3,55	3,55	0,038	0,1349	
SUBTOTAL N					0,27	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Junta para tubería de GRP	U	1	1699,34	1699,34		
SUBTOTAL O				1699,34		
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PESO/ VOL	CANTIDAD	DISTANCIA	TARIFA	COSTO
Junta para tubería de GRP	ton-km	0,006	1	10	0,15808	0,0095
SUBTOTAL P						0,0095
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+ P)					1699,63
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)					382,42
	COSTO TOTAL DEL RUBRO					2082,05

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.10.** APU rubro: Fundición de Silletas de apoyo.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN GRP					
<b>RUBRO :</b>	1.6				
<b>DETALLE:</b>	Fundición de Silletas			UNIDAD:	m3
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,01757
Concretera 1 saco a gasolina	1	4,48	4,48	0,01	0,0448
Vibrador de hormigón	1	4,06	4,06	0,01	0,0406
Cortadora / dobladora de hierro	2	0,51	1,02	0,01	0,0102
<b>SUBTOTAL M</b>					0,11
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,51	10,53	0,03	0,3159
Estruct. Ocup. D2 / Albañil	1	3,55	3,55	0,01	0,0355
<b>SUBTOTAL N</b>					0,35
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Cemento	Saco	6,7	8,25	55,275	
Arena	M3	0,65	13,5	8,775	
Ripio minado	M3	0,95	18	17,1	
Clavos 2 -2 1/2"	Lb	0,33	2,59	0,8547	
Agua	M3	0,24	0,85	0,204	
Aceite quemado	GL	0,08	0,52	0,0416	
Alfajía de Eucalipto	U	0,365	5,04	1,8396	
Tabla dura de encofrado	U	0,438	3,59	1,57242	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>85,66</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				86,13	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)				19,38	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				105,51	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.11.** APU rubro: Fundición de hormigón de replantillo (base)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN GRP					
<b>RUBRO :</b>	1.7				
<b>DETALLE:</b>	Replantillo hormigón f'c 140 kg/cm2			<b>UNIDAD:</b>	m3
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,019535
Concretera 1 saco a gasolina	1	4,48	4,48	0,01	0,0448
Vibrador de hormigón	1	4,06	4,06	0,01	0,0406
<b>SUBTOTAL M</b>					0,10
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,51	10,53	0,03	0,3159
Estruct. Ocup. D2 / Albañil	1	3,55	3,55	0,01	0,0355
Estruct. Ocup C2 / Maestro de obra	1	3,93	3,93	0,01	0,0393
<b>SUBTOTAL N</b>					0,39
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Cemento	SACO	6,18	8,25	50,985	
Arena	M3	0,65	13,5	8,775	
Ripio minado	M3	0,95	18	17,1	
Agua	M3	0,24	0,85	0,204	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>77,06</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				77,56	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTOS DIRECTOS)				17,45	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>95,01</b>	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.12.** APU rubro de armado de armadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN GRP					
RUBRO :	1.8				
DETALLE:	Acero de refuerzo fy=4200kg/cm2 figurado y colocado			UNIDAD:	KG
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,019535
Cortadora Dobladora de Hierro	1	0,51	0,51	0,03	0,0153
SUBTOTAL M					0,03
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,51	10,53	0,03	0,3159
Etruct. Ocup. D2 / Fierro	1	3,55	3,55	0,01	0,0355
Estruct. Ocup C2 / Maestro de obra	1	3,93	3,93	0,01	0,0393
SUBTOTAL N					0,39
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Alambre galvanizado N18	Kg	0,05	2,49	0,1245	
Acero de refuerzo f'c=4200 kg/cm2	Kg	1,05	0,81	0,8505	
SUBTOTAL O				0,98	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)			1,40	
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTOS DIRECTOS)			0,32	
	COSTO TOTAL DEL RUBRO			1,72	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



### 5.3.Determinación de precios unitarios de la tubería de presión con acero.

Los precios utilizados de los componentes del análisis de precios unitarios de cada rubro para la tubería de acero son tomados de la cámara de la industria de la construcción.

**Tabla 5.13.** APU rubro: Limpieza del terreno.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO					
<b>RUBRO :</b>	1.1				
<b>DETALLE:</b>	Limpieza del terreno			UNIDAD:	m2
<b>EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,045981
Volqueta 12 m3	2	35	70	0,004	0,28
<b>SUBTOTAL M</b>					0,325981
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/ HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
Estruct. Ocup. E2 / Peón	2	3,51	7,02	0,131	0,91962
<b>SUBTOTAL N</b>					0,91962
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>COSTO</b>	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				1,25	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)				0,28	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,53	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.14.** APU rubro: replanteo y nivelación con equipo topográfico.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERÍA DE PRESIÓN EN ACERO					
<b>RUBRO :</b>	1.2				
<b>DETALLE:</b>	Replanteo y nivelación con equipo topográfico			UNIDAD:	m2
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,101925
Equipo topográfico	1	3,75	3,75	0,08	0,3
<b>SUBTOTAL M</b>					0,401925
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. C1 / Maestro de obra	1	3,93	3,93	0,01	0,0393
Estruct. Ocup. D2 / Cadenero	2	3,51	7,02	0,24	1,6848
Estruct. Ocup. C1/Topógrafo	1	3,93	3,93	0,08	0,3144
<b>SUBTOTAL N</b>					2,0385
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Tiras 2,5x2,5x2,5	U	0,2	0,38	0,08	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,08</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				2,52	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)				0,57	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				3,08	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.15.** APU rubro: Limpieza de tubería de presión.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO					
RUBRO :	1,3				
DETALLE:	Limpieza de la tubería			UNIDAD:	m
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,046683
<b>SUBTOTAL M</b>					0,046683
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	2	3,51	7,02	0,133	0,93366
<b>SUBTOTAL N</b>					0,93366
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Arena negra	M3	0,18	15,87	2,8566	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>2,8566</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				3,84	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)				0,86	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>4,70</b>	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.16.** APU rubro: colocación del recubrimiento anticorrosivo.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO					
RUBRO :	1.4				
DETALLE:	Colocación del recubrimiento anticorrosivo			UNIDAD:	m
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,1520395
Grúa de patio	2	45,59	91,18	0,01	0,9118
Compresor de aire 37HP	1	14,24	14,24	0,02	0,2848
SUBTOTAL M					1,35
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Ayudante	1	3,14	3,14	0,557	1,74898
Estruct. Ocup. D2 / Pintor	1	3,55	3,55	0,334	1,1857
Estruct. Ocup. C1/ Operador de grúa telescópica	1	3,93	3,93	0,027	0,10611
SUBTOTAL N					3,04
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	15,87	COSTO	
Imprimación anticorrosiva	KG	0,5	10,21	5,105	
SUBTOTAL O				5,105	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				9,5	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)				2,14	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				11,6	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.17.** APU rubro: Suministro de la tubería de presión.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO						
RUBRO :	1.5					
DETALLE:	Suministro de la tubería de presión			UNIDAD:	kg	
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
SUBTOTAL M					0,00	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
SUBTOTAL N					0,00	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Tubería de acero A588	Kg	1	4,75	4,75		
SUBTOTAL O				4,75		
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PESO/ VOL	CANTIDAD	DISTANCIA	TARIFA	COSTO
Tubería de acero A588	ton- km	0,001	1	18	0,15808	0,00
SUBTOTAL P						0,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+ P)					4,75
	COSTOS INDIRECTOS( 22,5% COSTO DIRECTO)					1,07
	COSTO TOTAL DEL RUBRO					5,82

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018).

**Tabla 5.18.** APU rubro. Montaje de la tubería de presión.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO							
RUBRO :		1.6					
DETALLE:		Montaje de la tubería de presión			UNIDAD:	kg	
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,0064575		
Grúa de 20 ton	2	55,87	111,74	0,005	0,5587		
Soldadora electrica 330 A15 Hp	2	2,17	4,34	0,005	0,0217		
Amoladora	1	1,42	1,42	0,005	0,0071		
Cortadora de acero	1	1,68	1,68	0,005	0,0084		
SUBTOTAL M					0,60		
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
Estruct. Ocup. E2 / Peón	4	3,51	14,04	0,005	0,0702		
Estruct. Ocup. D2/ Ayudante de maquinaria	2	3,55	7,1	0,005	0,0355		
Estruct. Ocup. D2/ Soldador eléctrico	2	3,55	7,1	0,005	0,0355		
Estruct. Ocup. D2/ Fierro	4	3,55	14,2	0,005	0,071		
Estruct. Ocup. C1 / Maestro mayor en ejecución de obras	1	3,93	3,93	0,005	0,01965		
Estruct. Ocup. C1/ Operador de grúa	2	3,93	7,86	0,005	0,0393		
SUBTOTAL N					0,13		
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO			
Electrodo 6011-1/8 pulg (3MM)	Kg	0,03	4,32	0,1296			
Disco de corte 7 x 1/8 PULG; Para Metal	U	0,015	2,2	0,033			
SUBTOTAL O				0,1626			
TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PESO/ VOL	CANTIDAD	DISTANCIA	TARIFA	COSTO	
Electrodo 6011-1/8 pulg (3MM)	Kg	0,001	0,03	18	0,15808	0,00009	
Disco de corte 7 x 1/8 PULG; Para Metal	U	0,000619	0,015	18	0,15808	0,00003	
SUBTOTAL P					0,00011		
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+ P)					0,89	
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)					0,20	
	COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,10	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018).

**Tabla 5.19.** APU rubro: Fundición de Sillas de apoyo.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO					
<b>RUBRO :</b>	1.7				
<b>DETALLE:</b>	Fundición de Silletas			<b>UNIDAD:</b>	m3
<b>EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,01757
Concretera 1 saco a gasolina	1	4,48	4,48	0,01	0,0448
Vibrador de hormigón	1	4,06	4,06	0,01	0,0406
Cortadora / dobladora de hierro	2	0,51	1,02	0,01	0,0102
<b>SUBTOTAL M</b>					0,11
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/ HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,51	10,53	0,03	0,3159
Estruct. Ocup. D2 / Albañil	1	3,55	3,55	0,01	0,0355
<b>SUBTOTAL N</b>					0,35
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>COSTO</b>	
Cemento	Saco	6,7	8,25	55,275	
Arena	M3	0,65	13,5	8,775	
Ripio minado	M3	0,95	18	17,1	
Clavos 2 -2 1/2"	Lb	0,33	2,59	0,8547	
Agua	M3	0,24	0,85	0,204	
Aceite quemado	GL	0,08	0,52	0,0416	
Alfajía de Eucalipto	U	0,365	5,04	1,8396	
Tabla dura de encofrado	U	0,438	3,59	1,57242	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>85,66</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				86,13	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTO DIRECTO)				19,38	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				105,51	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 5.20.** APU rubro: Replanto hormigón f'c 140kg/cm2.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERÍA DE PRESIÓN EN ACERO					
<b>RUBRO :</b>	1.8				
<b>DETALLE:</b>	Replanto hormigón f'c 140 kg/cm2			UNIDAD:	m3
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,019535
Concretera 1 saco a gasolina	1	4,48	4,48	0,01	0,0448
Vibrador de hormigón	1	4,06	4,06	0,01	0,0406
<b>SUBTOTAL M</b>					0,10
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,51	10,53	0,03	0,3159
Estruct. Ocup. D2 / Albañil	1	3,55	3,55	0,01	0,0355
Estruct. Ocup C2 / Maestro de obra	1	3,93	3,93	0,01	0,0393
<b>SUBTOTAL N</b>					0,39
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Cemento	SACO	6,18	8,25	50,985	
Arena	M3	0,65	13,5	8,775	
Ripio minado	M3	0,95	18	17,1	
Agua	M3	0,24	0,85	0,204	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>77,06</b>	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)				77,56	
COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTOS DIRECTOS)				17,45	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>95,01</b>	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Tabla 5.21.** APU: colocación de armadura

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS TUBERIA DE PRESION EN ACERO					
RUBRO :	1.9				
DETALLE:	Acero de refuerzo fy=4200kg/cm2 figurado y colocado			UNIDAD:	KG
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)	Global				0,019535
Cortadora Dobladora de Hierro	1	0,51	0,51	0,03	0,0153
SUBTOTAL M					0,03
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/ HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Estruct. Ocup. E2 / Peón	3	3,51	10,53	0,03	0,3159
Etruct. Ocup. D2 / Fierro	1	3,55	3,55	0,01	0,0355
Estruct. Ocup C2 / Maestro de obra	1	3,93	3,93	0,01	0,0393
SUBTOTAL N					0,39
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario	COSTO	
Alambre galvanizado N18	Kg	0,05	2,49	0,1245	
Acero de refuerzo f'c=4200 kg/cm2	Kg	1,05	0,81	0,8505	
SUBTOTAL O				0,98	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O)			1,40	
	COSTOS INDIRECTOS (22,5% COSTOS DIRECTOS)			0,32	
	COSTO TOTAL DEL RUBRO			1,72	

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

#### 5.4.Costos de operación y mantenimiento.

##### Costos de mantenimiento de la tubería de presión de acero.

Con el pasar de los años las tuberías de presión de las centrales hidroeléctricas, pierden características físico mecánicas que posteriormente afectarán en la vida útil de la tubería, para lo que es necesario eliminar la corrosión y aplicar capas de recubrimiento resistente a la intemperie para de esta manera evitar el desgaste de la tubería y su posterior disminución del espesor.

El presupuesto referencial que se muestra a continuación no incluye IVA.

**Tabla 5.22.** Presupuesto referencial del mantenimiento de tuberías de acero (compras públicas, proyecto de mantenimiento en las tuberías de presión en la central hidroeléctrica Cumbayá para 183 m de tubería).

No.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Protección de las tuberías de presión de las centrales hidroeléctricas.	glb	1	421886,42	421886,42
<b>Total</b>					<b>421886,42</b>

Fuente: CompraspUBLICAS.gob.ec

El presupuesto referencial se realizó de acuerdo al equipo que se utiliza para realizar el mantenimiento y la composición de la cuadrilla de trabajo necesaria para realizar el trabajo de acuerdo a los pliegos presentes en el portal de compras públicas.

**Tabla 5.23.** Equipo mínimo necesario.

No.	Descripción	Cantidad	Características
1	Compresor de aire	2	Mínimo 370 cfm, con acumulador de aire y mangueras
2	Equipo de Griblasting	2	Tolva para granalla con capacidad de 100 litros.
3	Camioneta	2	Cabina doble, mínimo 0,75 toneladas
4	Airless	2	Airless 70/1 psi.
5	Hidro lavadora	2	Tipo industrial 6HP
6	Equipo de Pintura	2	Con aire convencional con manguera

7	Equipo de ultrasonidos	1	Analizador de fallas digital
---	------------------------	---	------------------------------

Fuente: [compraspublicas.gob.ec](http://compraspublicas.gob.ec)

**Tabla 5.24.** Personal Técnico necesario

No.	Función	Cantidad	Nivel de estudio	Titulación académica
1	Jefe de proyecto	1	Tercer nivel con título	Ingeniero Mecánico
2	Residente	2	Tercer nivel con título	Ingeniero Mecánico
3	Inspector	1	Tercer nivel con título	Ingeniero Mecánico, químico industrial
4	Supervisor	2	tecnólogo	tecnólogo mecánico
5	Operador de equipo de granallado	2	Bachiller	bachiller técnico
6	pintor	2	Educación básica	adjuntar copia de la cedula
7	ayudante de pintor	6	Educación básica	adjuntar copia de la cedula

Fuente: [compraspublicas.gob.ec](http://compraspublicas.gob.ec)

#### **Costos de mantenimiento de la tubería de presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio.**

En el caso de la tubería de poliéster reforzada con fibra de vidrio, el tramo que está perdiendo espesor o que ya presentó alguna falla debe ser cambiado por el mismo material en la sección donde se encontró el desperfecto.

La longitud de la tubería que debe ser retirada depende del diámetro que tenga la misma.

El presupuesto referencial mostrado a continuación no incluye IVA.

**Tabla 2.25.** Presupuesto referencial del mantenimiento de tuberías de GRP

N°	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Inspección de la tubería de presión	glb	1	10500	10500
2	Mano de obra por limpieza	glb	1	112,64	112,64
<b>TOTAL</b>					<b>262612,64</b>

El presupuesto referencial se realizó tomando en consideración los costos de mantenimiento de la central hidroeléctrica Topo.

**Tabla 5.26.** Equipo mínimo necesario.

No.	Descripción	Cantidad	Características
1	Tejido de fibra de vidrio. (MAT)	2	Cortada en longitudes determinadas
2	Tejido de fibra de vidrio. (W.R.)	2	Tamaños determinados según el diámetro de la tubería.
3	Camioneta	2	Cabina doble, mínimo 0,75 toneladas
4	Amoladora de Disco	2	Disco diamantado o de Carburundum
5	Tubo de ensayo	2	Para medición de catalizador
6	Equipo de Pintura	4	Rodillos acanalados, paletas mezcladoras, cubos vacíos de polietileno, mesas
7	Equipo de limpieza	4	Disolvente(cloruro de metileno)/ estireno

Fuente: Manual de mantenimiento flowtite.

**Tabla 5.27.** Personal técnico necesario

No.	Función	Cantidad	Nivel de estudio	Titulación académica
1	Jefe de proyecto	1	Tercer nivel con título	Ingeniero Mecánico
2	Residente	2	Tercer nivel con título	Ingeniero Mecánico
3	Inspector	1	Tercer nivel con título	Ingeniero Mecánico, químico industrial o
4	Supervisor	2	Tecnólogo	tecnólogo mecánico
5	Técnico	2	Bachiller	bachiller técnico
6	Albañil	2	Educación básica	adjuntar copia de la cedula
7	Ayudante de obra	6	Educación básica	adjuntar copia de la cedula

Fuente: Manual de mantenimiento flowtite.

## CAPÍTULO VI.

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE TUBERÍA DE PRESIÓN CON POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y TUBERÍA DE ACERO.

#### 6.1. Comparación técnica.

Se realiza el análisis comparativo de la tubería de presión utilizando poliéster reforzado con fibra de vidrio o utilizando acero. Por lo que es necesario conocer las características físicas de cada uno de estos materiales, definiendo de esta manera las ventajas y desventajas de cada uno para así comprobar cuál es la mejor opción.

##### 6.1.1. Presión de las tuberías.

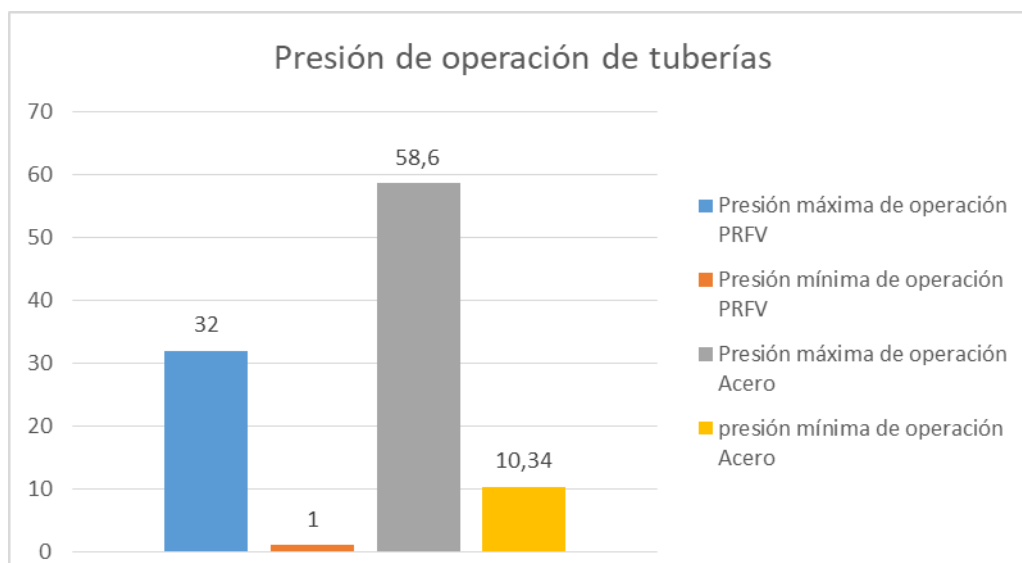
La presión que soporta cada uno de los materiales en tuberías de presión se presenta en la tabla siguiente.

La presión de operación en los dos casos varía de acuerdo al diámetro de la tubería y varía también de acuerdo a los fabricantes.

**Tabla 6.1.** Presiones admisibles en la tubería.

	PRESIÓN DE LAS TUBERÍAS		
	Máximo (Bar)	Operación max (Bar)	Operación min (Bar)
ACERO	4136,85	58,6	10,34
PRFV	64	32	1

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.1.** Presión de operación de tuberías.

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

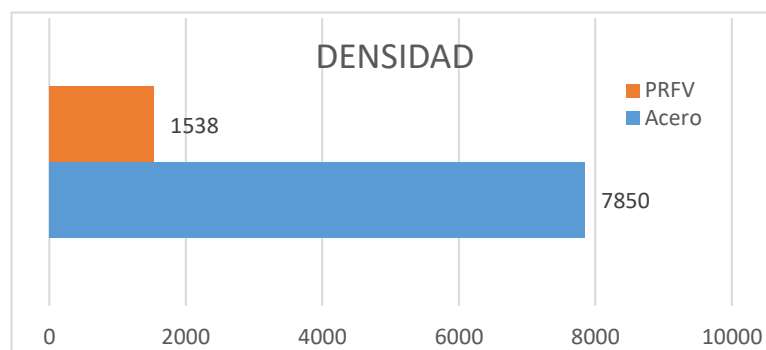
### 6.1.2. Características físicas y mecánicas.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de las propiedades físico mecánicas del acero y PRFV.

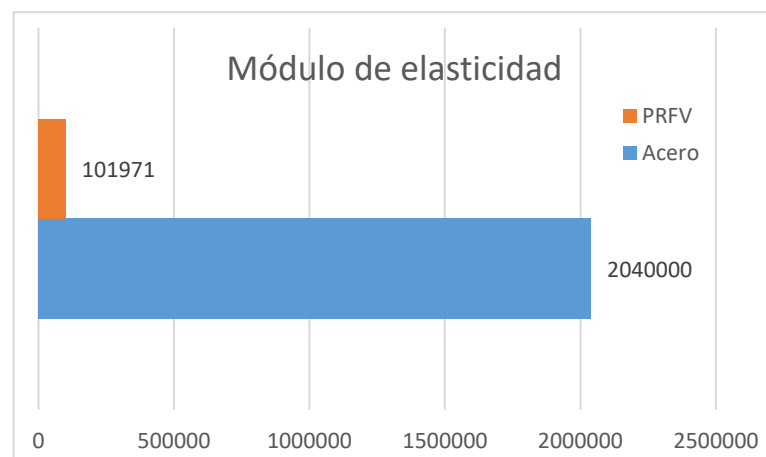
**Tabla 6.2.** Características de los materiales.

Características físicas y mecánicas	ACERO	PRFV
Densidad (kg/ m3)	7850	1538
Modulo de elasticidad (kg/cm2)	$2.04 \times 10^6$	$1.02 \times 10^5$
Coefficiente de Poisson	0,27	0,22
Coefficiente de dilatación termica ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$1.02 \times 10^{-5}$	$30 \times 10^{-6}$

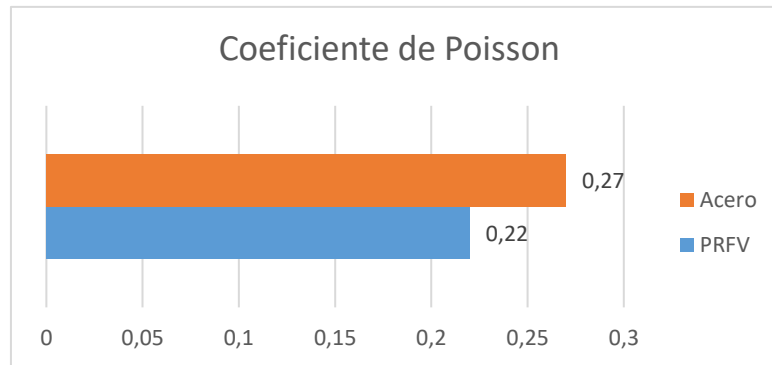
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



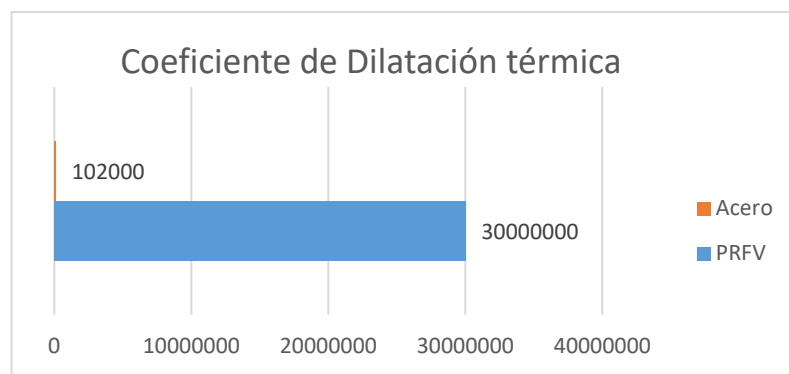
**Ilustración 6.2.** Comparación de densidades.  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



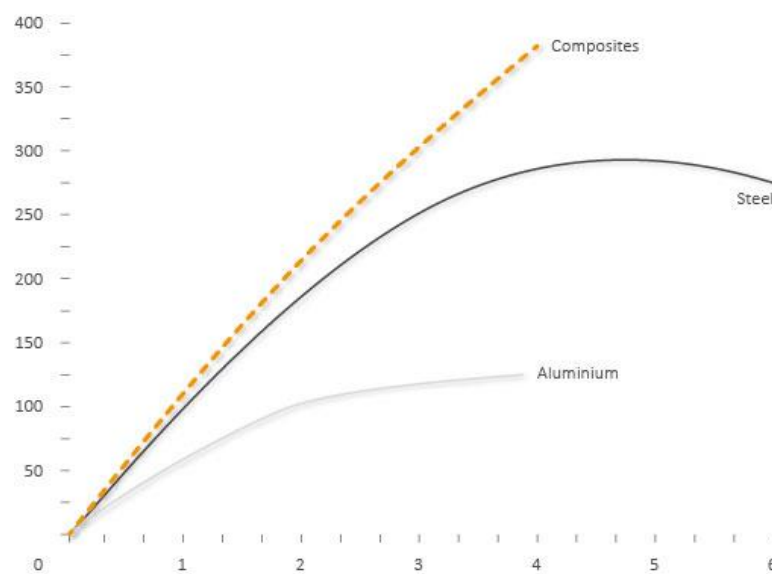
**Ilustración 6.3.** Comparación de Módulo de elasticidad  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.4.** Coeficiente de Poisson  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

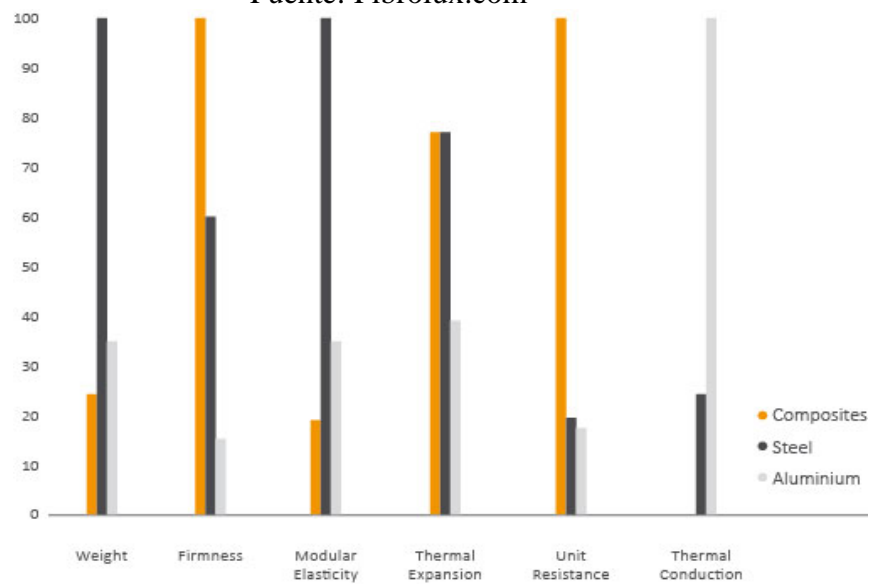


**Ilustración 6.5.** Coeficiente de dilatación Dinámica.  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.6.** Diagrama esfuerzo deformación - comparación.

Fuente: Fibrolux.com



**Ilustración 6.7.** Comparación de las características de los materiales.

Fuente: Fibrolux.com

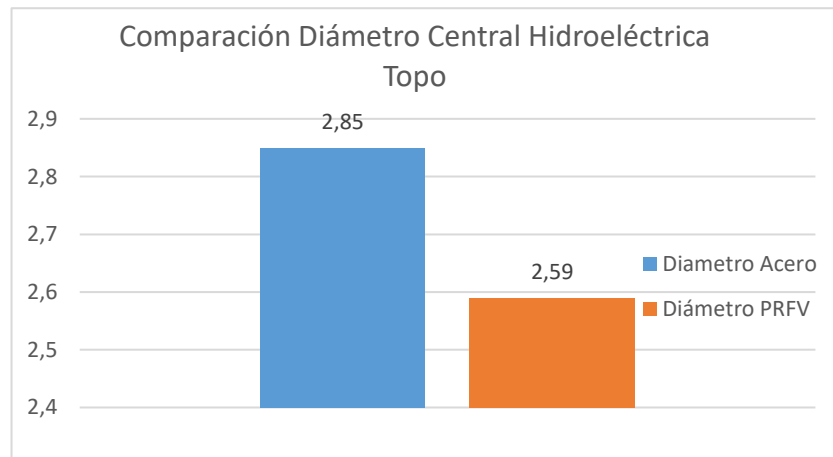


### 6.1.3. Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica Topo.

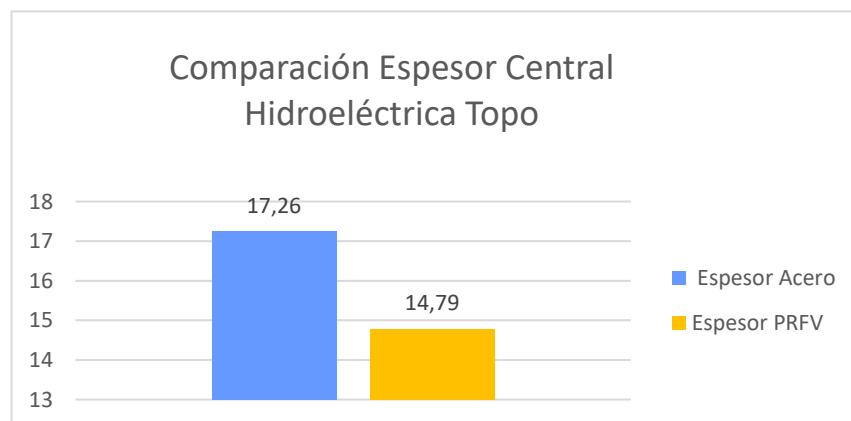
**Tabla 6.3.** Datos de la tubería de presión en la central hidroeléctrica Topo

CENTRAL HIDROELÉCTRICA TOPO		
	ACERO	PRFV
<b>Diámetro (m)</b>	2,85	2,59
<b>Espesor (mm)</b>	17,26	14,79
<b>Peso (ton)</b>	1,21	0,184

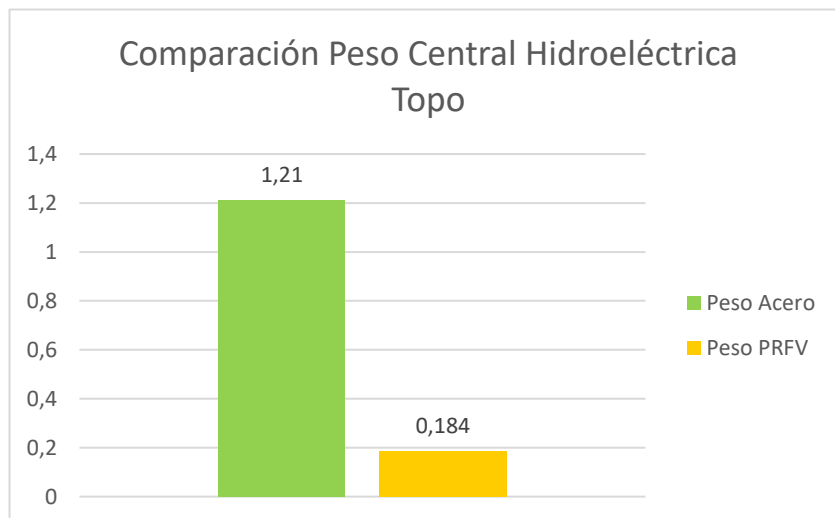
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.8.** Diámetro Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.9.** Espesor Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



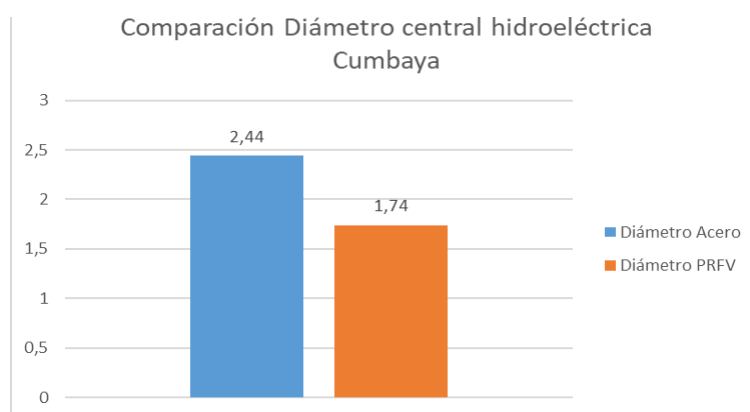
**Ilustración 6.10.** Peso Acero Vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

#### 6.1.4. Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica Cumbayá.

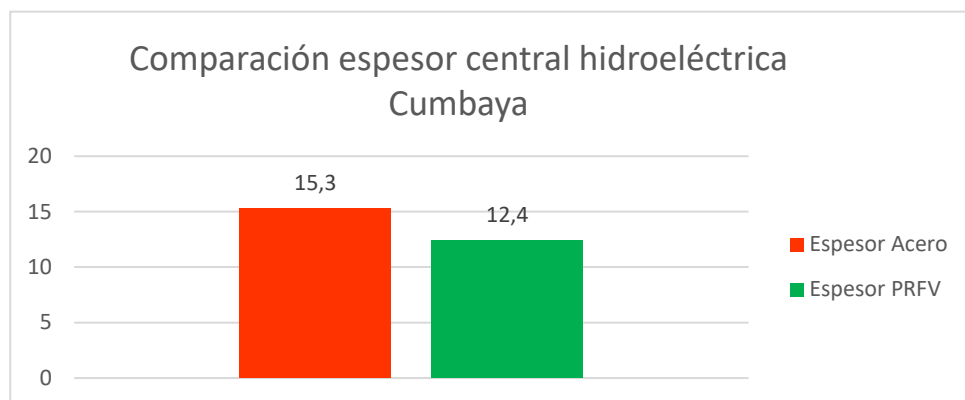
**Tabla 6.4.** Comparación central hidroeléctrica Cumbayá.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYA		
	ACERO	PRFV
<b>Diámetro (m)</b>	2,44	1,74
<b>Espesor (mm)</b>	15,3	12,4
<b>Peso (ton)</b>	1,031	0,102

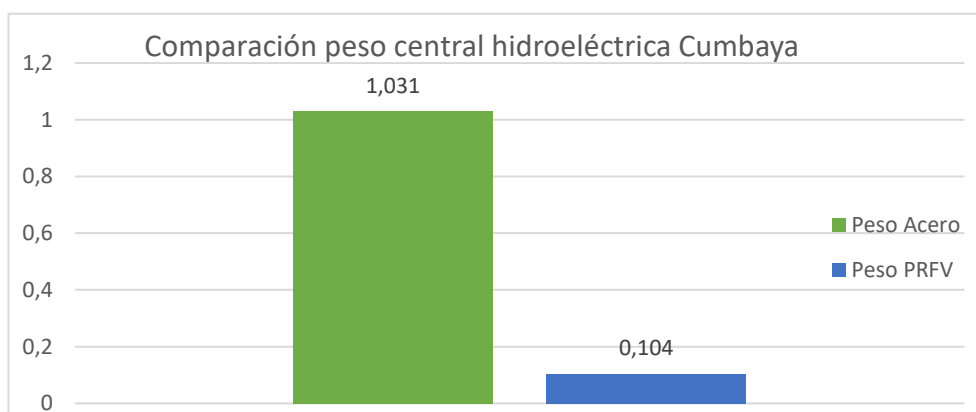
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.11.** Diámetro Acero vs PRFV.  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.12.** Espeor Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



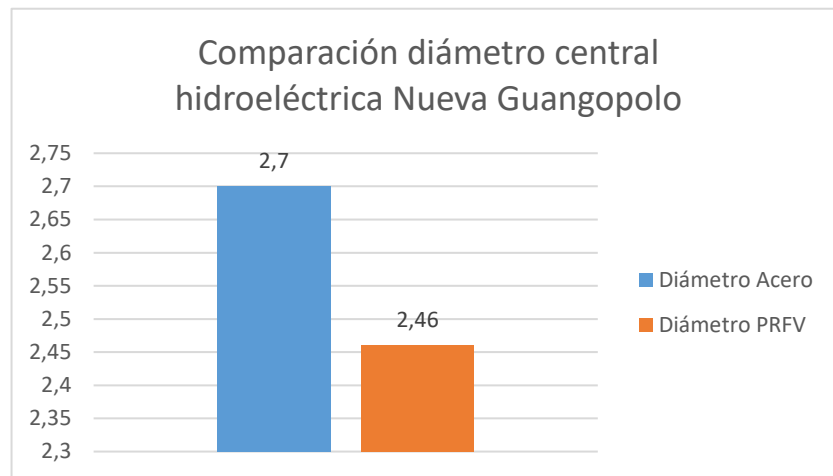
**Ilustración 6.13.** Peso Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

6.1.5. Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica Nueva Guangopolo.

**Tabla 6.5.** Comparación Central Hidroeléctrica Guangopolo.

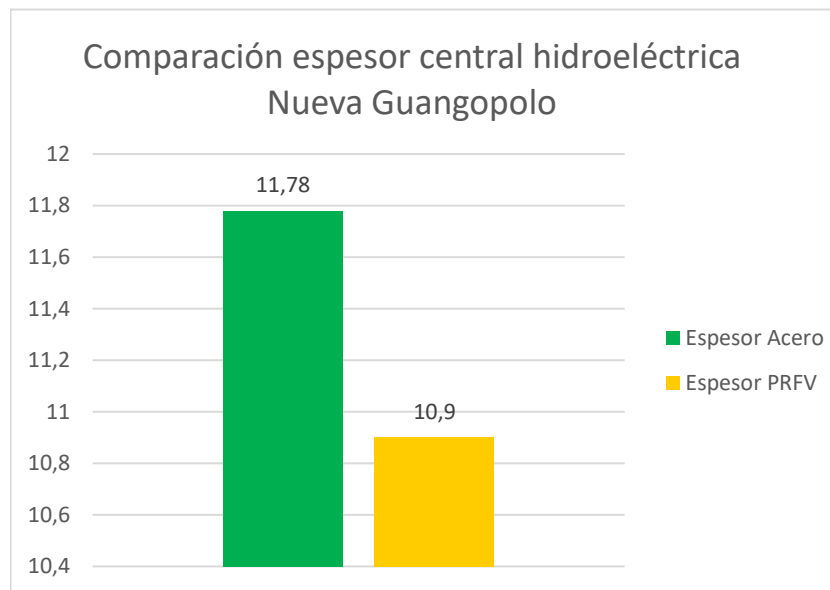
CENTRAL HIDROELÉCTRICA NUEVA GUANGOPOLO		
	ACERO	PRFV
<b>Diámetro (m)</b>	2,7	2,46
<b>Espesor (mm)</b>	11,78	10,9
<b>Peso (ton)</b>	0,78	0,13

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

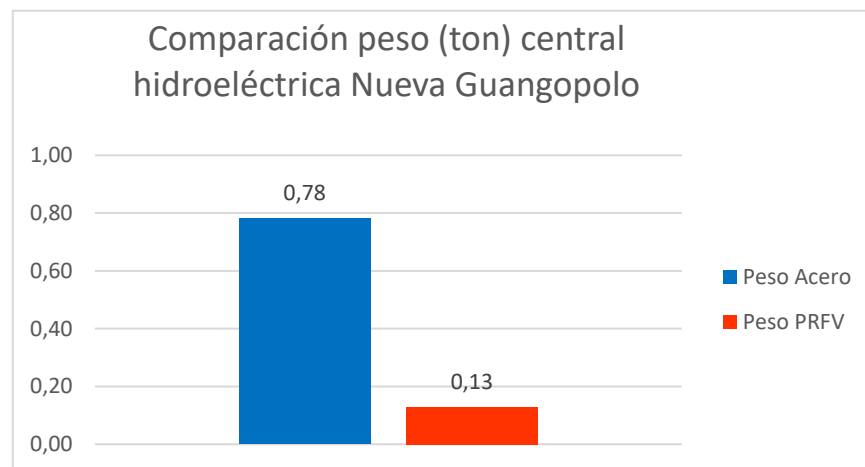


**Ilustración 6.14.** Diámetro Acero vs PRFV

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.15.** Espesor Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



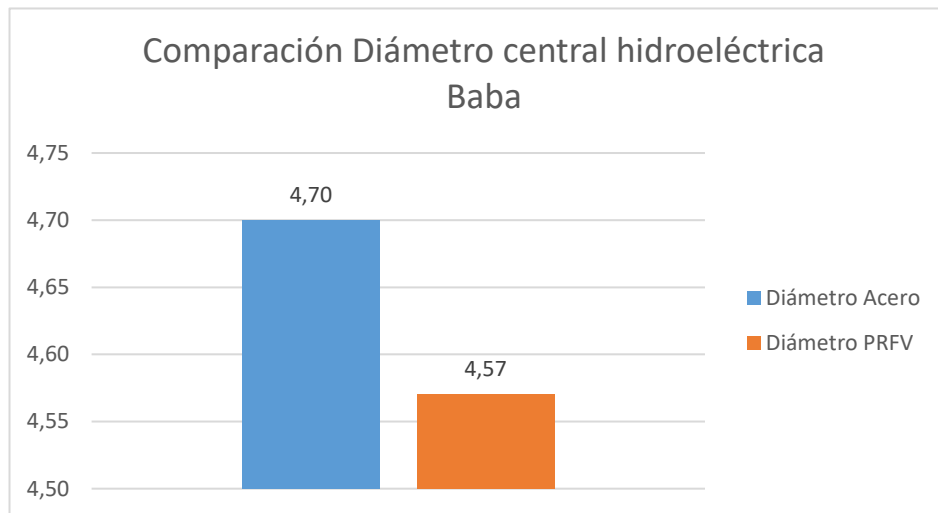
**Ilustración 6.16.** Peso Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

6.1.6. Dimensiones de la tubería de presión de la central hidroeléctrica multipropósitos Baba.

**Tabla 6.6.** Comparación Central Hidroeléctrica Multipropósito Baba

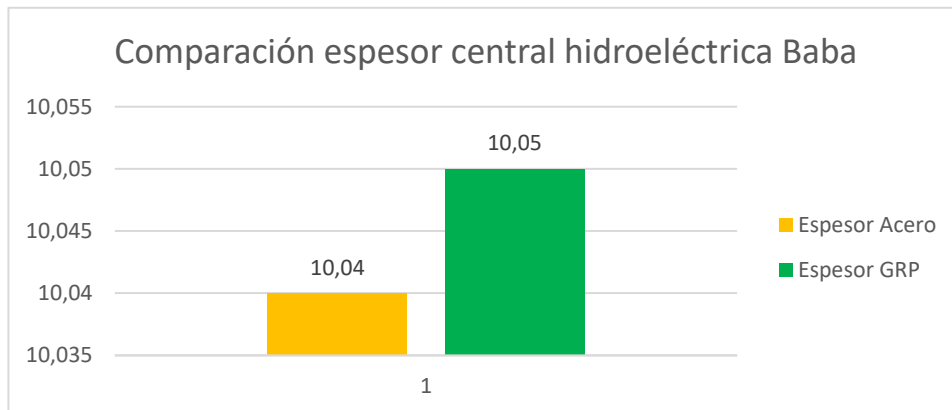
CENTRAL HIDROELÉCTRICA MULTIPROPOSITO BABA		
	ACERO	PRFV
Diámetro (m)	4,70	4,57
Espesor (mm)	10,04	10,05
Peso (ton)	1,16	0,22

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

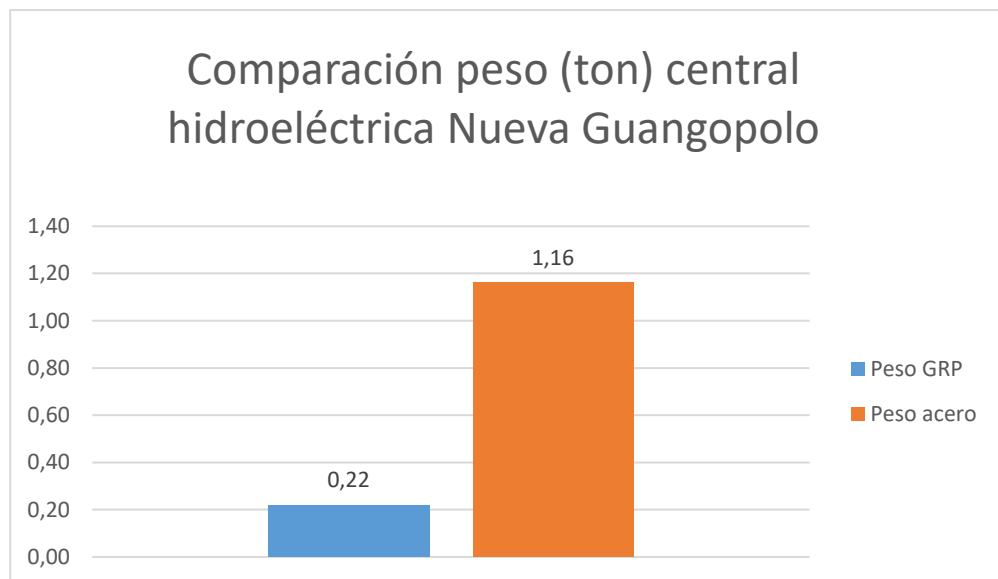


**Ilustración 6.17.** Diámetro Acero vs PRFV

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.18.** Espesor Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.19.** Peso Acero vs PRFV  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

## 6.2. Comparación de costos de tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio y tubería de acero.

El análisis económico es uno de los factores más importantes al momento de elegir el material que será utilizado en el proyecto, por este motivo a continuación se realizará un análisis comparativo de costos de cada una de las centrales tomando en cuenta los materiales acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El costo de la fundición de los bloques de anclajes, sillas de apoyo, replantillo y bordillo se considerara del mismo valor para los dos materiales y en todas las centrales hidroeléctricas ya que este parámetro no interviene en la elección de la calidad del material que se usará en la tubería de presión.

### 6.2.1. Caso 1: tubería de presión proyecto Topo (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).

En la siguiente tabla se muestra el costo referencial de la instalación de la tubería de presión utilizando el material acero.

**Tabla 6.7.** Central Topo - Costo con tubería acero

PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA TOPO - ACERO					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	1572	1,53	2405,16
1.2	Replanteo y nivelación	m2	1179	3,08	3631,32
1.3	Limpieza de la tubería	m	393	4,7	1847,1
1.4	Colocación del recubrimiento anticorrosivo	m	393	11,1	4362,3
1.5	Suministro de tubería de acero	kg	475530	5,86	2786605,8
1.6	Montaje de la tubería	kg	475530	1,10	523083
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>3321934,68</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.7	Fundición de las silletas	m3	982,08	105,51	103619,261
1.8	Fundicion de losa de hormigón	m3	1053,216	100,47	105816,61
1.9	Replantillo de hormigon f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado.	m3	141,48	95,01	13442,01
1.10	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	22826,13	1,72	39260,94
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>262138,831</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>3584073,51</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

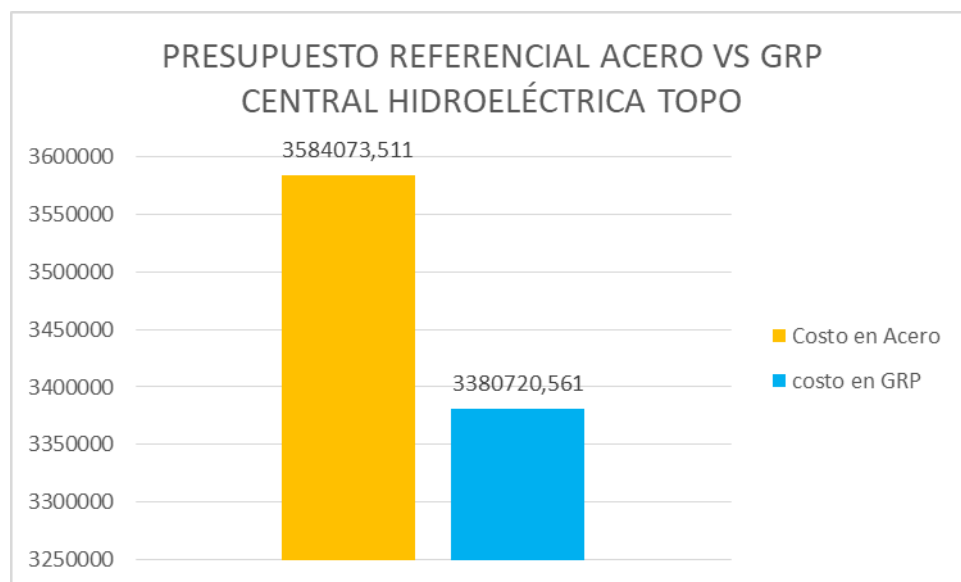


**Tabla 6.8.** Central Topo - Costo con material de GRP.

PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA TOPO - GRP					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	1572	1,53	2405,16
1.2	Replanteo y nivelación	m2	1179	3,08	3631,32
1.3	Suministro de tubería de acero	kg	126960	22,67	2878183,2
1.4	Montaje de la tubería	kg	126960	0,78	99028,8
1.5	Colocación de juntas de GRP	U	65	2082,05	135333,25
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>3118581,73</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.6	Fundición de las silletas	m3	982,08	105,51	103619,261
1.7	Fundición losa de hormigon	m3	1053,216	100,47	105816,612
1.8	Replanteo de hormigon f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado y armadura.	m3	141,48	95,01	13442,0148
1.9	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	22826,13	1,72	39260,9436
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>262138,831</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>3380720,56</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

En la ilustración que se puede observar la variación de costos que existe entre un material y otro dando como resultado un ahorro de 203352.95 dólares del poliéster reforzado con fibra de vidrio sobre el acero.



**Ilustración 6.20** Comparación de costos Acero vs GRP

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

6.2.2. Caso 2: tubería de presión proyecto Cumbayá (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).

**Tabla 6.9.** Costo de tubería de presión con acero

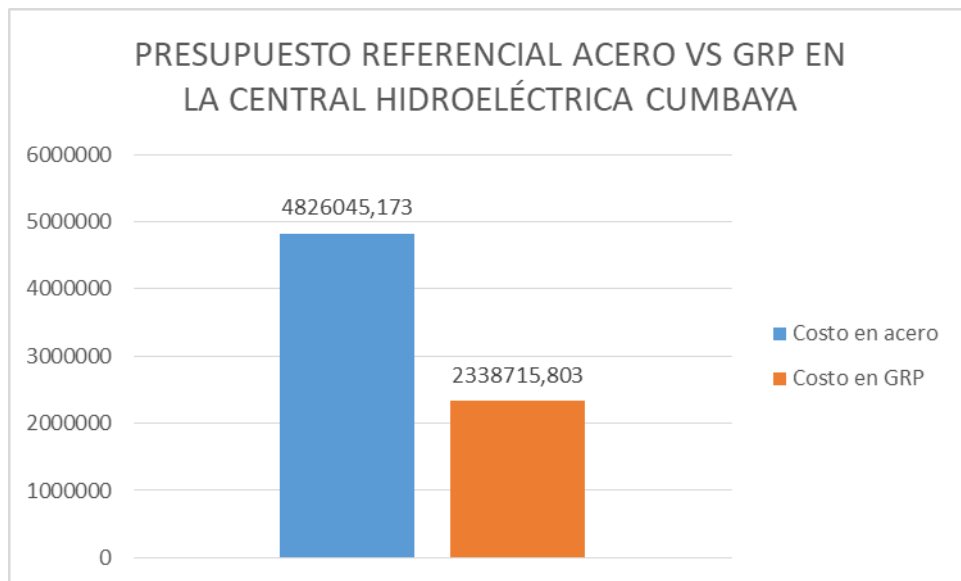
PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYA - ACERO					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	3450	1,53	5278,5
1.2	Replanteo y nivelación	m2	5112	3,08	15744,96
1.3	Limpieza de la tubería	m	690	4,7	3243
1.4	Colocación del recubrimiento anticorrosivo	m	690	11,1	7659
1.5	Suministro de tubería de acero	kg	630454	5,83	3675546,82
1.6	Montaje de la tubería	kg	630454	1,10	693499,4
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>4400971,68</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.7	Fundición de las silletas	m3	1696,32	105,51	178978,723
1.8	Fundición de losa de hormigón	m3	1694,74	100,47	170270,53
1.9	Replanteo de hormigón f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado.	m3	248,4	95,01	23600,48
1.10	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	30362,65	1,72	52223,76
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>425073,493</b>
				<b>Total</b>	<b>4826045,17</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 6.10.** Costo de la tubería de presión con GRP

PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUMBAYA - GRP					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	3450	1,53	5278,5
1.2	Replanteo y nivelación	m2	5112	3,08	15744,96
1.3	Suministro de tubería de acero	kg	70587	22,67	1600207,29
1.4	Montaje de la tubería	kg	70587	0,78	55057,86
1.5	Colocación de juntas de GRP	U	114	2082,05	237353,7
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>1913642,31</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.6	Fundición de las silletas	m3	1696,32	105,51	178978,723
1.7	Fundición losa de hormigón	m3	1694,74	100,47	170270,528
1.8	Replanteo de hormigón f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado y armadura.	m3	248,4	95,01	23600,484
1.9	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	30362,65	1,72	52223,758
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>425073,493</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>2338715,8</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.21.** Comparación de costos acero vs GRP.

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

En la ilustración se puede observar la variación de costos que existe entre un material y otro dando como resultado un ahorro de 2487329.37 dólares del poliéster reforzado con fibra de vidrio sobre el acero.

6.2.3. Caso 3: tubería de presión proyecto Guangopolo (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).

**Tabla 6.11.** Costo de tubería de presión con Acero.

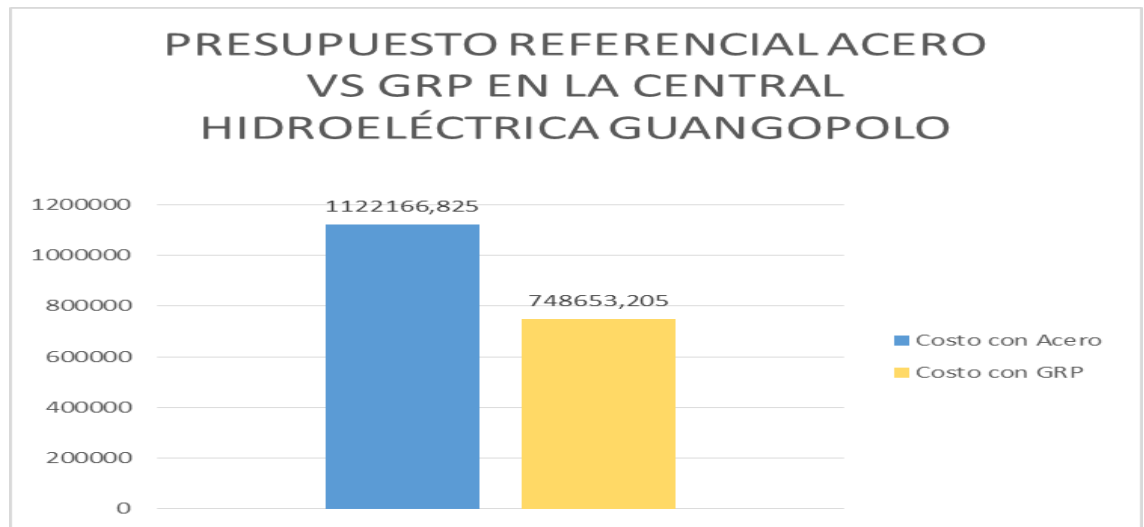
PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA GUANGOPOLO - ACERO					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	819	1,53	1253,07
1.2	Replanteo y nivelación	m2	1001	3,08	3083,08
1.3	Limpieza de la tubería	m	182	4,7	855,4
1.4	Colocación del recubrimiento anticorrosivo	m	182	11,1	2020,2
1.5	Suministro de tubería de acero	kg	142135	5,82	827225,7
1.6	Montaje de la tubería	kg	142135	1,10	156348,5
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>990785,95</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.7	Fundición de las silletas	m3	446,4	105,51	47099,664
1.8	Fundición de losa de hormigón	m3	597,46	100,47	60026,81
1.9	Replanteo de hormigón f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado.	m3	65,52	95,01	6225,06
1.10	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	10482,18	1,72	18029,35
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>131380,88</b>
				<b>Total</b>	<b>1122166,83</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 6.12.** Costo tubería de presión de GRP.

PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA GUANGOPOLO - GRP					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	819	1,53	1253,07
1.2	Replanteo y nivelación	m2	1001	3,08	3083,08
1.3	Suministro de tubería de acero	kg	23474,4	22,67	532164,648
1.4	Montaje de la tubería	kg	23474,4	0,78	18310,032
1.5	Colocación de juntas de GRP	U	30	2082,05	62461,5
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>617272,33</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.6	Fundición de las silletas	m3	446,4	105,51	47099,664
1.7	Fundición losa de hormigón	m3	597,46	100,47	60026,8062
1.8	Replanteo de hormigón f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado y armadura.	m3	65,52	95,01	6225,0552
1.9	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	10482,18	1,72	18029,3496
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>131380,875</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>748653,205</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.22.** Comparación de costos Acero vs GRP  
Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

En la ilustración se observa la variación de costos que existe entre un material y otro dando como resultado un ahorro de 373513.62 dólares del poliéster reforzado con fibra de vidrio sobre el acero.

#### 6.2.4. Caso 4: tubería de presión proyecto Baba (acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio).

**Tabla 6.13.** Costo tubería de presión Acero.

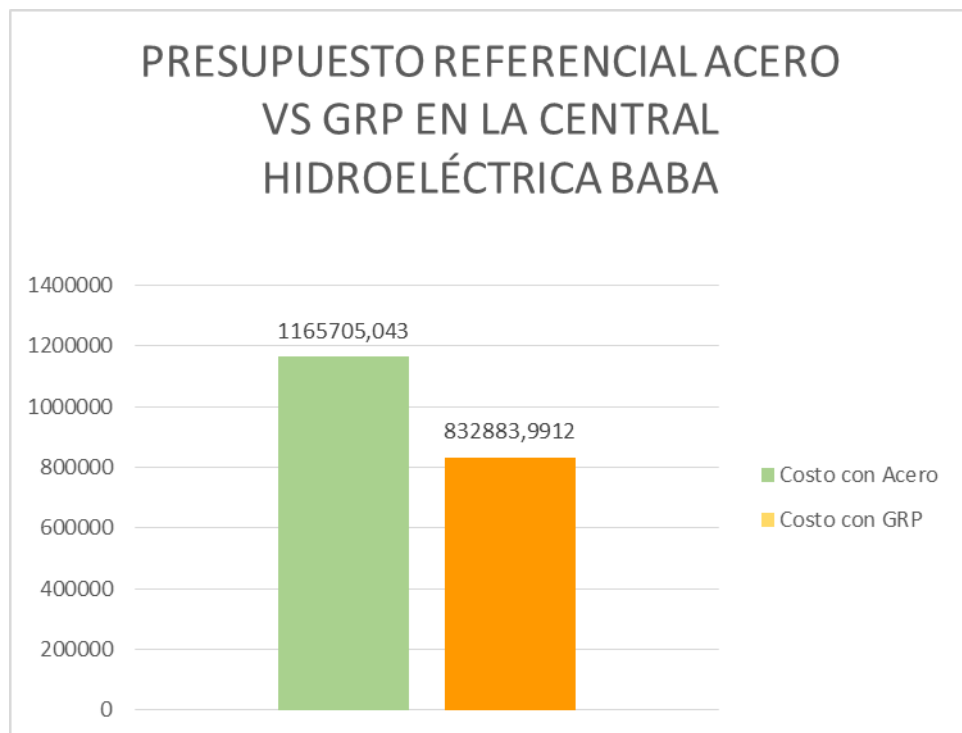
PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA BABA - ACERO					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	658,5	1,53	1007,505
1.2	Replanteo y nivelación	m2	790,2	3,08	2433,816
1.3	Limpieza de la tubería	m	131,7	4,7	618,99
1.4	Colocación del recubrimiento anticorrosivo	m	131,7	11,1	1461,87
1.5	Suministro de tubería de acero	kg	152935,45	5,82	890084,319
1.6	Montaje de la tubería	kg	152935,45	1,10	168228,995
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>1063835,5</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.7	Fundición de las silletas	m3	312,48	105,51	32969,7648
1.8	Fundición de losa de hormigón	m3	488,8	100,47	49109,74
1.9	Replanteo de hormigón f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado.	m3	47,41	95,01	4504,42
1.10	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	8886,99	1,72	15285,62
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>101869,55</b>
	<b>Total</b>				<b>1165705,04</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 6.14.** Costo tubería de presión GRP.

PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA BABA - GRP					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	658,5	1,53	1007,505
1.2	Replanteo y nivelación	m2	790,2	3,08	2433,816
1.3	Suministro de tubería de acero	kg	29162,05	22,67	661103,674
1.4	Montaje de la tubería	kg	29162,05	0,78	22746,399
1.5	Colocación de juntas de GRP	U	21	2082,05	43723,05
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>731014,444</b>
	<b>Colocación del sistema de anclaje</b>				
1.6	Fundición de las silletas	m3	312,48	105,51	32969,7648
1.7	Fundición losa de hormigon	m3	488,8	100,47	49109,736
1.8	Replanteo de hormigon f'c 140 kg/cm2, con encofrado, suelo compactado y armadura.	m3	47,41	95,01	4504,4241
1.9	Armadura de acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	8886,99	1,72	15285,6228
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>101869,548</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>832883,991</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.23.** Comparación de costos Acero vs GRP

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

#### 6.2.5. Costos de inversión de poliéster reforzado con fibra de vidrio y actualización de costos de tubería de acero.

Los costos de la tubería de presión de acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio que se muestran a continuación se los realiza tomando en cuenta los En la ilustración se puede observar la variación de costos que existe entre un material y otro dando como resultado un ahorro de 322821.05 dólares del poliéster reforzado con fibra de vidrio sobre el acero.

Costos de inversión de tubería de poliéster rubros de instalación de la tubería de presión y realizando el análisis de 1 m de instalación de tubería.

**Tabla 6.15.** Costo de 1m de instalación de la tubería de acero.

PRESUPUESTO REFERENCIAL INSTALACIÓN DE TUBERIA DE PRESIÓN - ACERO					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	1	1,53	1,53
1.2	Replanteo y nivelación	m2	1	3,08	3,08
1.3	Limpieza de la tubería	m	1	4,7	4,7
1.4	Colocación del recubrimiento anticorrosivo	m	1	11,1	11,1
1.5	Suministro de tubería de acero	kg	913,702	5,86	5354,29372
1.6	Montaje de la tubería	kg	913,702	1,10	1005,0722
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>6379,77592</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

**Tabla 6.16.** Costo de 1m de instalación de tubería de GRP.

PRESUPUESTO REFERENCIAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA TOPO - GRP					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	<b>Tubería de presión</b>				
1.1	Limpieza del terreno	m2	1	1,53	1,53
1.2	Replanteo y nivelación	m2	1	3,08	3,08
1.3	Suministro de tubería de acero	kg	102,3	22,67	2319,141
1.4	Montaje de la tubería	kg	102,3	0,78	79,794
1.5	Colocación de juntas de GRP	U	0,16	2082,05	333,128
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>2736,673</b>

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)

#### 6.2.6 Costos de operación y mantenimiento (actualización de costos).

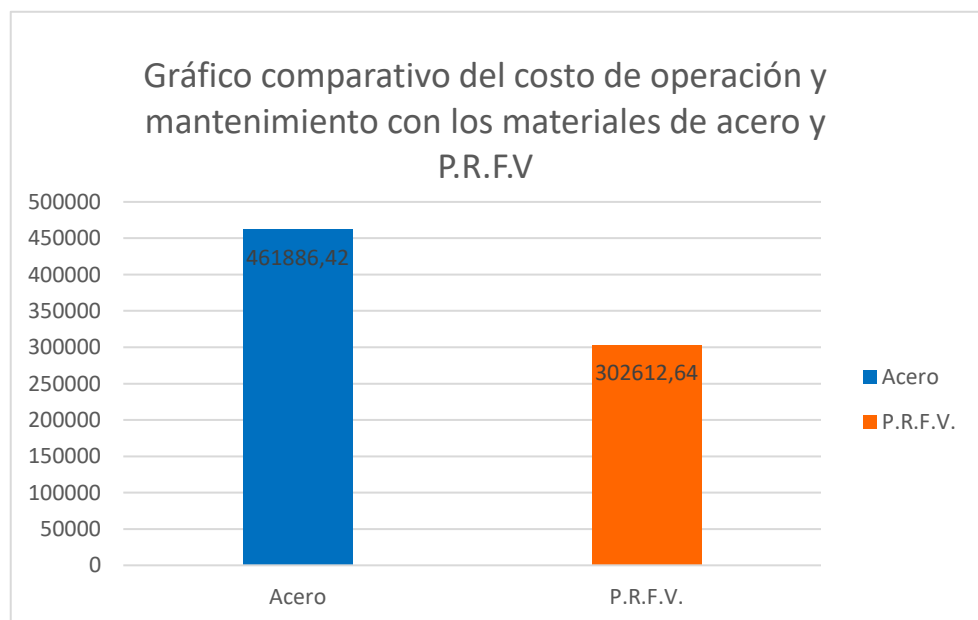
Para realizar el análisis de costo de operación y mantenimiento de las tuberías con poliéster reforzado con fibra de vidrio y el material acero se tomó en consideración los costos de la central hidroeléctrica Topo y los resultados obtenidos se los tabuló tanto en gráficos como en una tabla que se presenta a continuación.

Para el costo del mantenimiento se hace referencia a el valor que pierde una central cuando tiene que parar su producción un día que es de aproximadamente 40000 dólares americanos en cualquiera de los dos materiales.

**Tabla 6.17.** Cuadro comparativo de costos de operación y mantenimiento.

Material	Costos de operación incluido gastos administrativos y de produccion diarios de una central	Costos de mantenimiento	Total costo de operación y mantenimient
Acero	40000	421886,42	461886,42
P.R.F.V.	40000	262612,64	302612,64

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



**Ilustración 6.24.** Comparación costo tubería de acero vs GRP.

Fuente: (Tituaña Gina & Torres Elizabeth, 2018)



## CAPÍTULO VII.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 7.1.Conclusiones

- De acuerdo a la comparación de las propiedades físicas de los materiales presentes en el diagrama esfuerzo – deformación, se observa que el material poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP) tienen capacidad para resistir mayores esfuerzos y presenta menor deformación debido a su módulo de elasticidad , lo que hace que solo trabaje en el rango elástico y su rotura sea inmediata, mientras que el acero soporta menores esfuerzos, sin embargo este material tiene la capacidad de trabajar tanto en el rango elástico como en el rango inelástico, por lo que presenta fallas antes de llegar a su punto de rotura.
- La tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio por su peso (0.102 T/m), 10 veces menor que la tubería de acero (1.031 T/m), presenta mayor facilidad de instalación, ya que requiere de equipo de fácil consecución en el mercado, por lo cual su costo de instalación es 5 veces más económico.
- Del cálculo realizado para el diseño de la tubería de presión por golpe de ariete para la central hidroeléctrica TOPO se obtuvo los siguientes resultados: Para el G.R.P el diámetro fue de 2.59m y para el acero fue de 2.85m, para G.R.P. el espesor fue de 14.79 mm y para el acero fue de 17.26mm y el peso de cada material para esta central por metro fue de G.R.P. 0.184 T/m y acero 1.21 T/m. por lo tanto se puede concluir que con el material G.R.P. las dimensiones son menores que con acero.
- En el análisis de costos de instalación que se realizó para la central hidroeléctrica TOPO se obtuvo los siguientes valores para G.R.P \$3 380 720,56 dólares americanos y para el acero \$ 3 584 073,51 dólares americanos, la diferencia entre los dos materiales es de \$203 352,95 a favor del G.R.P. Se concluye que en relación a los costos para la central hidroeléctrica TOPO el material G.R.P es menos costoso que el acero.
- En el cálculo realizado para el diseño de la tubería de presión por golpe de ariete para la central hidroeléctrica CUMBAYA se obtuvo los siguientes resultados: Para el G.R.P el diámetro fue de 1.74m y para el acero fue de 2.44m, para G.R.P. el espesor fue de 12.4 mm y para el acero fue de 15.3mm y el peso de cada material para esta central por metro fue de G.R.P. 0.102 T/m y acero 1.031 T/m. por lo tanto se puede concluir que con el material G.R.P. las dimensiones son menores que con acero.
- En el análisis de costos de instalación que se realizó para la central hidroeléctrica CUMBAYA se obtuvo los siguientes valores para G.R.P \$2 338 715,80 dólares americanos y para el acero \$ 4 826 045,17 dólares americanos, la diferencia entre los dos materiales es de \$2 487 329,37 a favor del G.R.P. Se concluye que en relación a los costos para la central hidroeléctrica CUMBAYA el material G.R.P es menos costoso que el acero.

- En el cálculo realizado para el diseño de la tubería de presión por golpe de ariete para la central hidroeléctrica GUANGOPOLO se obtuvo los siguientes resultados: Para el G.R.P el diámetro fue de 2.46m y para el acero fue de 2.7m, para G.R.P. el espesor fue de 10.9 mm y para el acero fue de 11.78 mm y el peso de cada material para esta central por metro fue de G.R.P. 0.13 T/m y acero 1.78 T/m. por lo tanto se puede concluir que con el material G.R.P. las dimensiones son menores que con acero.
- En el análisis de costos de instalación que se realizó para la central hidroeléctrica GUANGOPOLO se obtuvo los siguientes valores para G.R.P \$748 653,21 dólares americanos y para el acero \$ 1 122 166,83 dólares americanos, la diferencia entre los dos materiales es de \$373 513,62 a favor del G.R.P. Se concluye que en relación a los costos para la central hidroeléctrica GUANGOPOLO el material G.R.P es menos costoso que el acero.
- En el cálculo realizado para el diseño de la tubería de presión por golpe de ariete para el proyecto Multipropósito BABA se obtuvo los siguientes resultados: Para el G.R.P el diámetro fue de 4.57m y para el acero fue de 4.70m, para G.R.P. el espesor fue de 10.05 mm y para el acero fue de 10.04mm y el peso de cada material para esta central por metro fue de G.R.P. 0.22 T/m y acero 1.16 T/m. por lo tanto se puede concluir que con el material G.R.P. las dimensiones son menores que con acero.
- En el análisis de costos de instalación que se realizó para el proyecto Multipropósito BABA se obtuvo los siguientes valores para G.R.P \$832 883,99 dólares americanos y para el acero \$ 1 165 705,04 dólares americanos, la diferencia entre los dos materiales es de \$322 821,05 a favor del G.R.P. Se concluye que en relación a los costos para el proyecto Multipropósito BABA el material G.R.P es menos costoso que el acero.
- El costo de mantenimiento de la tubería de presión en G.R.P. con un tiempo de vida útil de 50 años es de \$ 262 612.64 dólares americanos y para el acero es de \$ 421 886.42 dólares americanos se tomó como referencia los costos para el G.R.P. de la central hidroeléctrica TOPO y del acero de la central hidroeléctrica CUMBAYA.
- En cuanto al mantenimiento, tomando como referencia la central hidroeléctrica Topo, la inspección para la tubería de presión con poliéster reforzado con fibra de vidrio se la realiza una vez cada 2 años. En tubería de acero, la inspección se realiza cada 5 años y la limpieza incluye pintura puntual una vez cada 4 meses en la sierra y cada 3 meses en la costa.
- Según la investigación realizada en esta tesis se concluye que si bien en cuanto a costos y dimensiones el mejor material es el poliéster reforzado con fibra de vidrio(GRP), con respecto a sus propiedades mecánicas el acero trabaja de una forma más eficiente que el G.R.P. ya que el mantenimiento en la tubería de presión con poliéster se lo debe hacer parando la producción de energía en la central aproximadamente 4 días los cuales representan una perdida para la

empresa de \$ 40 000 dólares americanos diarios que es realizada cada 10 años y esto da que la pérdida total por los 50 años de vida de la central en G.R.P. es de \$ 800 000 dólares americanos en cambio en el acero el mantenimiento no necesita que se pare la central de forma total ni parcial porque solo se realiza un recubrimiento superficial con pintura para evitar la corrosión por eso se concluye que el material que mejor trabaja y que en relación a costos también es mejor es el acero.

## 7.2.Recomendaciones

- Se recomienda tener los costos de los materiales tanto de poliéster reforzado con fibra de vidrio como en acero sean costos actualizados para poder realizar el análisis de precios unitarios de forma más precisa.
- Como recomendación se debería hacer análisis de laboratorio para los dos materiales y así poder determinar tanto las propiedades mecánicas y físicas no solo de forma investigativa sino también de forma práctica y poder realizar una comparación entre ellas.
- Se recomienda para el diseño tomar el aumento en el espesor de los valores por desgaste del material y por golpe de ariete, sin tomar en cuenta las pérdidas por fricción ya que esto haría que la dimensión de la tubería sea menor, en cambio si se cumple con esta recomendación el diseño cumplirá con estándares de seguridad.
- Después de realizar el análisis comparativo se recomienda que se debería utilizar el acero porque este no detiene la producción por mantenimiento cada 10 años y según un estudio realizado en la central hidroeléctrica CUMBAYA durante 50 años su espesor solo disminuyo en 1mm y no es necesario realizar grandes procesos de mantenimiento.

## Bibliografía

- Aragones, J., Arroyo, A., & Balairón, L. (2002). Guía técnica sobre tuberías y transporte de agua a presión. *Guía técnica sobre tuberías y transporte de agua a presión*. Madrid , España : Cedex.
- CELEC-EP. (31 de Agosto de 2016). Auditoría línea de transmisión eléctrica Quevedo - San Gregorio . Quito , Pichincha , Ecuador : Sambito .
- Coz, F. (1995). Manual de mini y micro centrales hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos. *Manual de mini y micro centrales hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima , Perú: ITDG -Perú . Recuperado el 31 de Enero de 2018
- Cruz, O. (28 de Junio de 2013). Proyecto Multipropósito Baba . *El Universo*, pág. 5.
- Delgado, S. (23 de Enero de 2017). *es.slideshare.net*. Obtenido de es.slideshare.net: <https://es.slideshare.net/JonathanDelgado39/anlisis-de-precio-unitario-apu>
- DIPRA. (Mayo de 2016). *Guidelines.com*. Obtenido de Guidelines.com: [file:///C:/Users/GINA/Downloads/Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide\\_Spanish%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/GINA/Downloads/Guidelines-DuctileIronPipeInstallGuide_Spanish%20(4).pdf)
- e-comex.com*. (08 de Febrero de 2017). Obtenido de e-comex.com: <http://www.e-comex.com/costos-de-una-importacion/>
- FLOWTITE. (2006). Guía de instalación de tuberías aéreas sin juntas trabadas. *Guía de instalación de tuberías aéreas sin juntas trabadas*. Madrid, España.
- Marocco, R. (1991). *El contexto geológico del espacio físico ecuatoriano* . Quito : Editorial Nacional .
- Ortiz, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas* . Bogotá : Ediciones de la U.
- OT, E. T. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón Baños de agua Santa*. Baños de agua Santa.
- Quirion, P. (2012). *Fundamentos de Hidráulica* . Montreal: Manual del estudiante.
- Sanz, J. F. (2008). *Energías Renovables Energía Hidroeléctrica* . Zaragoza : Pressas universitaria de zaragoza .
- Sauer, W. (1965). *Geología del Ecuador* . Quito : Talleres gráficos del ministerio de educación . Obtenido de Flacsoandes.edu.ec: <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=12293>
- SCFLUIDS. (20 de Octubre de 2009). *www.valvulasymedidores.com*. Obtenido de [www.valvulasymedidores.com](http://www.valvulasymedidores.com): [http://www.valvulasymedidores.com/valvulas\\_de\\_compuerta.html](http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_de_compuerta.html)
- Urbaca.com*. (1999). Obtenido de Ingeniería de Tuberías de Acero: [https://www.urbaca.com.mx/resources/pdf/productos/01\\_tuberia/acero/pared\\_solidatuberia\\_acero\\_pared\\_solidaf.pdf](https://www.urbaca.com.mx/resources/pdf/productos/01_tuberia/acero/pared_solidatuberia_acero_pared_solidaf.pdf)

Valle, J. (2013). *Dimensionamiento del tanque de carga y tubería de presión de la micro central hidroeléctrica Juri Juri Kawsay*. Quito .